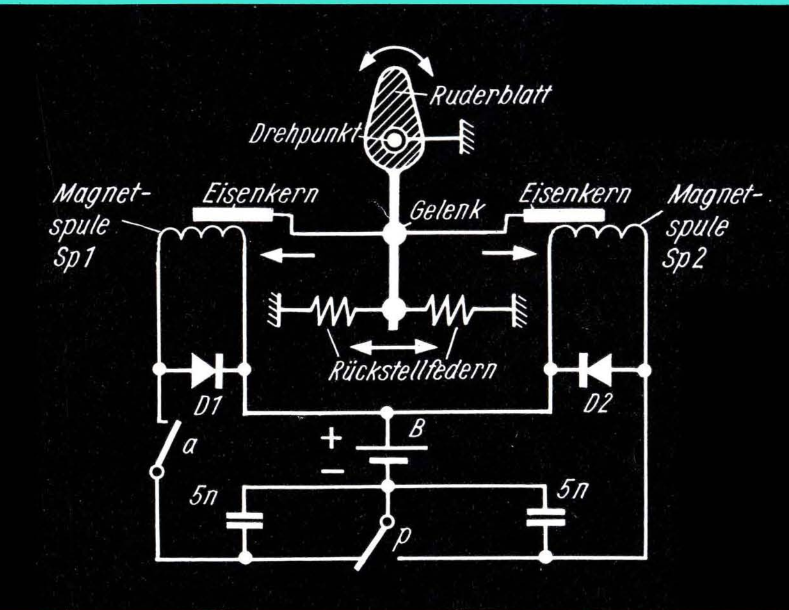
amateurreihe

electronica



Hagen Jakubaschk

Fernsteuerexperimente Teil I

electronica · Band 92
Fernsteuerexperimente
Teil I
(Bd. 92 und Bd. 93
sind verbesserte
Nachauflagen von
Bd. 51 und Bd. 73.)

HAGEN JAKUBASCHK

Fernsteuerexperimente

Teil I



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Redaktionsschluß: 15. November 1969

11.–25. Tausend, 2., verbesserte Auflage
Deutscher Militärverlag · 1970
Lizenz-Nr. 5
Lektor: Lektorenkollektiv
Zeichnungen: Wilhelm Kaufmann
Korrektor: Johanna Pulpit
Typografie: Helmut Herrmann
Hersteller: Werner Briege
Gesamtherstellung:
Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
1,90

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die Technik der Modellfernsteuerung reicht über die Interessensphäre des Modellbauers weit hinaus. Vielfach wird beim Bau ferngesteuerter Modelle heute noch dem rein Handwerklichen große Bedeutung beigemessen, während der Modellbauer der steuerungstechnischen Seite mehr oder weniger ratlos gegenübersteht. Ohne funktechnische Kenntnisse kommt er dabei nicht aus, er findet jedoch oft auch bei den Funkamateuren nur wenig Rat, weil diese die Fernsteuertechnik zuwenig beherrschen. Die Fernsteuertechnik — und im weiteren Sinn die Fernwirktechnik — bietet aber zahlreiche interessante Experimentier- und Bastelmöglichkeiten. Eine Beschäftigung in dieser Richtung gehört daher schon längst nicht mehr nur in die Interessensphäre des Modellbauers, sondern ebenso in die des Nachrichtentechnikers und des Elektronikers — und damit auch des Funkamateurs. Ihm bietet die Modellfernsteuerung nicht nur ein Experimentierfeld, sondern sie kann ihm eine wesentliche Grundlage für das Verständnis der kommerziellen Elektronik, wie der industriellen Steuer- und Regeltechnik, der Informations- und Datenfernübermittlung, sowie der Fernwirk-, Fernmeß- und auch der militärischen Fernlenktechnik sein. Nicht zuletzt gewinnt er durch die Beschäftigung mit der Fernsteuertechnik auch Verständnis für die Wirkungsweise kybernetischer Modelle und Geräte.

Die vorliegende Broschüre wurde deshalb nicht auf den engumrissenen Rahmen einfacher und fest vorgegebener Modellsteuer-*Bauanleitungen* beschränkt, sondern sie soll einen allgemeinen Überblick über die für den Amateur und Modellbauer interessanten und realisierbaren Techniken der Fernsteuerung geben. Deshalb behandelt sie vorwiegend schaltungstechnische und elektronische Details, und zwar so, daß sie sich für alle Modellarten (Flug-,

Schiffs- und Fahrmodelle verschiedensten Aufwands) eignen. Der Amateur kann die Geräte nach vorgesehener Steuerungsaufgabe selbst kombinieren, da die Schaltungen jeweils funktionsgruppenweise behandelt sind.
Die erprobten und funktionssicheren Schaltungen, die teilweise auf Entwicklungen im Labor des Verfassers zurückgehen, sind ausschließlich mit Materialien der DDR-Produktion aufgebaut. Bei sämtlichen Schaltungen wurde konsequent von der Verwendung von Halbleitern ausgegangen, denn alle bei der Modellsteuerung auftretenden Aufgaben sind heute bereits vollständig mit Halbleiterbauelementen lösbar. Für die verwendeten Transistoren sind meist keine bestimmten Typen angegeben, sondern es werden Verlustleistungsklasse und erforderliche Daten genannt. Der Amateur ist damit nicht an die starre — ohnehin sehr wenig aussagende — Typenbezeichnung gebunden, sondern kann aus seinem Vorrat oder aus gerade greifbaren Typen geeignete Exemplare auswählen. Im allgemeinen lassen sich ohne weiteres die *Bastlertypen* verwenden.
Hat also der vorliegende Band in erster Linie die Aufgabe, Grundlagen und Übersichten zu vermitteln, so bringt die Fortsetzungsbroschüre (Heft 93 dieser Reihe) neben Schaltungsvarianten vorwiegend Beschreibungen von HF-Sendern und HF-Empfängern. Außerdem werden darin vollständige Geräte verschiedenster Art behandelt (u. a. leitstrahlgelenkte und selbstzielsuchende Modelle). Eine Zusammenstellung über Modelleisenbahn-Elektronik rundet den Teil II ab.
Der Verfasser hofft, mit diesen beiden Broschüren einige Anregungen gegeben zu haben.

Nahmitz, im Juni 1969 Hagen Jakubaschk

1. Grundlagen der Fernsteuertechnik

1.1. Der grundsätzliche Aufbau einer Fernsteueranlage

Jede Fernsteueranlage wird zunächst einmal in Senderseite und Empfängerseite (*kommando-erteilende* und *kommando-ausführende* Seite) unterteilt. Innerhalb dieser Seiten kann die Anlage in Funktionsblocks mit unterschiedlicher Aufgabenstellung weiter untergliedert werden (Bild 1).

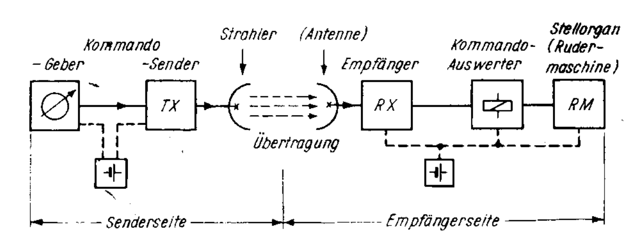


Bild 1 Prinzipieller Aufbau einer Fernsteueranlage

Die Senderseite besteht grundsätzlich aus dem *Kommandogeber*, dem *Kommandosender* und dem *Strahler*. Der Geber wandelt die (im Fall der Modellsteuerung von Hand eingegebenen) Kommandos (Steuerschalter-Betätigung u. ä.) in ein entsprechendes elektrisches Signal, im folgenden kurz „Kommando" genannt, um. Der Sender hat die Aufgabe, dieses Kommando in eine dem jeweiligen Übertragungsverfahren entsprechende Form zu bringen. Am Senderausgang befindet sich der Strahler, der gleichzeitig den Anfang der Übertragungsstrecke bildet. Er ist bei der Funkübertragung die Sendeantenne. Der Kommandosender, in diesem Beispiel ein HF-Sender (Funksender), wird vom Kom-

mandogeber moduliert oder getastet. Als dritte – keine Besonderheiten aufweisende – Baugruppe kann die Stromversorgung angesehen werden. Für sie benutzt man fast immer Batterien. Der Strahler (Bild 1) ist symbolisch zu verstehen. Schaltungstechnisch wird er im allgemeinen als Bestandteil des Senders mitbehandelt.
Empfängerseitig endet die Übertragungsstrecke mit der Antenne. Sie ist bei der Funkübertragung eine übliche Funkantenne. Bei anderen Verfahren tritt in der Schaltung nach Bild 1 an die Stelle der Funkantenne ein andersartiges Aufnahmeorgan (bei Lichtsteuerung der Lichtempfänger, bei akustischer Steuerung ein Mikrofon usw.), das aber funktionell auch dann eine „Antenne" ist. Ihr folgt der Empfänger, der wiederum nur bei Funkübertragung ein HF-Empfänger ist, bei anderen Verfahren aber auch schaltungsmäßig ein NF-Verstärker oder eine Spezialschaltung sein kann. Der Empfänger gibt das Kommando im allgemeinen in der gleichen Form wieder ab, in der es der Geber erzeugt und an den Sender liefert. Da sich das Kommando in dieser Form gewöhnlich nicht unmittelbar zur Betätigung der zu verstellenden Organe – im folgenden allgemein als *Ruderorgane* oder *Rudermaschine* bezeichnet – eignet, folgt ein Kommando-Auswerter, der das Kommando in eine für die Ruderorgane geeignete Form umwandelt. Im einfachsten Fall ist dieser Auswerter ein Relais, dessen Kontakte dann die nachfolgende Rudermaschine RM schalten. Die Rudermaschine wiederum wird meistens ein Elektromotor, gelegentlich auch ein Elektromagnet o. ä. sein (je nach Beschaffenheit des zu stellenden Organs, z. B. Seitenruder, Modell-Antriebsmotor, Brennstoffventil). Der Kommando-Auswerter kann schaltungstechnisch in einfacheren Fällen ein Bestandteil der Empfängerschaltung sein (Relais in der letzten Empfängerstufe o. ä.), jedoch auch kompliziertere Aufgaben haben. (Bei Übermittlung mehrerer Befehle gewährleistet er die Zuführung jedes Befehls an die zugeordnete Rudermaschine, von denen dann mehrere nachgeschaltet sein können.) Für die Stromversorgung ist ein weiterer Funktionsblock vorhanden, der praktisch immer aus

Batterien besteht. Vielfach benutzt man dann für RM besondere Batterien, damit Rückwirkungen von RM auf Empfänger und Auswerter vermieden werden, die bei gemeinsamer Batterie durch die meist starke Stromaufnahme von RM auftreten könnten.
Neben der bekannten Funkübertragung sind noch mehrere andere Übertragungsverfahren möglich, die vor allem die Beschaffenheit des Senders TX und Empfängers RX bestimmen, während die übrigen Baugruppen mit dem Übertragungsverfahren nicht unmittelbar im Zusammenhang stehen. Für den Amateur kommen vorwiegend Fernsteuerungen nach den folgenden Prinzipien in Betracht:

— drahtgebundene Verfahren (Leitungsübertragung),
— akustische Übertragung (Schall),
— optische Übertragung (Lichtstrahl),
— magnetische Übertragung (Induktionsübertragung) im NF-Bereich,
— hochfrequente Übertragung (Funkübertragung).

Der grundsätzliche Anlagenaufbau nach Bild 1 gilt jedoch für alle Verfahren gleichermaßen.

1.2. Kommandoarten

Während das benutzte Übertragungsverfahren für die Ausführung des Kommandobefehls im Modell keine grundsätzliche Bedeutung hat, richtet sich die Beschaffenheit und Art des Kommandos — das der Geber (Bild 1) herzustellen hat — nach der zu erfüllenden Befehlsaufgabe. Daher ist die Kommandoart für die Steuerungsmöglichkeiten des Modells ausschlaggebend.

1.2.1. Das Ein/Aus-Kommando

Die einfachste Form ist das Ein/Aus-Kommando. Eine solche — drahtgebundene — Kommandoübermittlung liegt bereits beim Einschalten der Zimmerbeleuchtung durch

Schalter vor. Bild 2 verdeutlicht das Prinzip dieser einfachsten Steuerungsaufgabe. Angenommen sei eine Funkübertragung zwischen Sender TX und Empfänger RX, natürlich kann dafür auch ein anderes Übertragungsverfahren angewendet werden. Schalter S schaltet TX von seiner Batterie B 1 ab. Je nachdem, ob S ein- oder ausgeschaltet wird, ist bei RX entweder Empfang (= „Ein") oder kein Empfang (= „Aus") vorhanden. Hat RX Empfang, so zieht das in seiner Stromversorgungsleitung (von B 2) liegende Relais Rel an und schaltet mit Kontakt rel die Rudermaschine RM ein. Kontakt rel folgt daher immer der Stellung des Schalters S. Mit dieser einfachsten Kommandoart läßt sich nur eine Rudermaschine RM, und zwar in 2 verschiedene Zustände (Ein oder Aus) versetzen. Zwischenstellungen (bei Motoren halbe Kraft o. ä.) oder Zusatzbefehle (z. B. Drehrichtungsumkehr bei Motoren) sind nicht ohne weiteres möglich. Diese Kommandoart erfüllt daher nur sehr einfache Aufgaben.

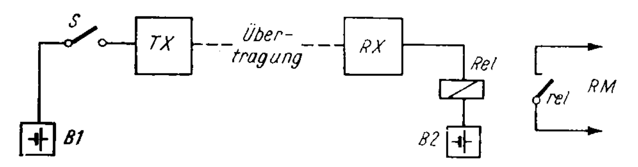


Bild 2 Ein Aus-Kommando durch An- und Abschaltung des Senders TX, die einfachste Form einer Fernsteuerübertragung

Ein wesentlicher Nachteil besteht darin, daß der Sender selbst ein- oder ausgeschaltet wird. Die Einrichtung wird dadurch anfällig für Fremdstörungen (andere Sender, Fremdlicht, Fremdschall, fremde Magnetfelder usw., je nach Übertragungsverfahren) und Änderungen der Übertragungsbedingungen (Reichweite). Man läßt dann den Sender ständig arbeiten und moduliert ihn mit dem von S erzeugten Ein/Aus-Kommando (beispielsweise als Ton). Während der erste Fall bei Funkübertragung der Telegrafieart A 1 entspricht, wird im zweiten Fall das A-2-Verfahren an-

gewendet. Rel reagiert dann nicht auf die Senderausstrahlung selbst, sondern auf die Modulation des Senders. Das Prinzip ist jedoch das gleiche.

1.2.1.1. Das Schrittfolge-Kommando

Dieses einfache Verfahren hat den Vorzug, unkompliziert und mit geringem Aufwand realisierbar zu sein. Um trotzdem mehrere Ein/Aus-Kommandos übertragen zu können, benutzte man in der Vergangenheit häufig Kunstschaltungen, die jedoch inzwischen zugunsten vielseitigerer Verfahren an Bedeutung verlieren. Ein Beispiel dafür ist das *Schrittfolge-Kommando.*

Prinzipiell wird die Übertragung nach Bild 2 benutzt, jedoch verwendet man als Kommando-Auswerter jetzt kein einfaches Relais, sondern ein Schrittschaltwerk (wofür meist Telefon-Schrittwählschalter benutzt werden) entsprechend Bild 3. Jedesmal, wenn man senderseitig den Geber-Schalter S schließt, zieht der Schrittschaltmagnet SS seinen Anker an und schaltet das Klinkenzahnrad einen Schritt weiter. Der mit ihm verbundene Schaltarm — im Bild auf Kontakt 8 stehend — wird dadurch auf den folgenden Kontakt weitergeführt. Vom Schaltschritt 10 schaltet der Schaltarm, der meist doppelt oder dreifach ausgeführt ist (in

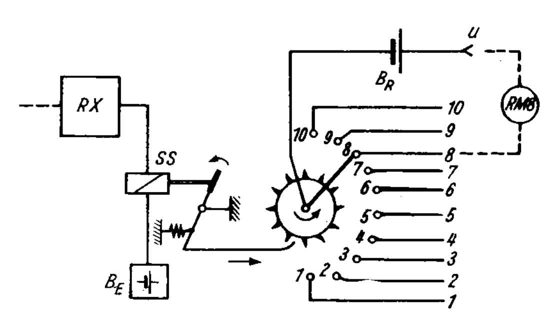


Bild 3 Erweiterung des Prinzips nach Bild 2 mit Schrittschaltwerk. Durch Übermittlung einer entsprechenden Anzahl von Impulsen wird der Schaltarm auf die nächstgewünschte Stellung weiterbewegt

Bild 3 nicht gezeichnet), wieder auf Kontakt 1 weiter. Es können nun 10 Rundermaschinen RM zwischen U und den Kontakten 1 · · · 10 angeschlossen sein (z. B. Antriebsmotoren, Ventilmagneten, Beleuchtungslampen). In der Darstellung (Bild 3) ist gerade RM 8 in Betrieb. Möchte man statt dessen RM 9 einschalten, so muß man durch kurzzeitiges Schließen von S im Sender (Bild 2) einen Impuls geben; soll dagegen auf RM 10 geschaltet werden, so sind 2 Impulse zu geben. Ist es erforderlich, von RM 8 auf RM 4 zu schalten, dann sind dafür 6 Impulse nötig, wobei der Schaltarm die Stellungen 9, 10, 1, 2, 3 durchläuft. Stand zuletzt RM 2 unter Strom, so sind für das gleiche Organ RM 4 nur noch 2 Impulse zu geben. Man muß also stets von der Stellung des Schaltarms ausgehen, die er zuletzt eingenommen hat; eine Zuordnung bestimmter Impulszahlen zu bestimmten RM-Organen ist ebensowenig möglich wie gleichzeitiger Betrieb mehrerer RM. Diese Lösung ist also nicht sehr vorteilhaft. Erwähnt sei dazu nur noch, daß man ähnliche Wege auch rein mechanisch gehen kann, indem SS nicht einen Stufenschalter, sondern unmittelbar eine Zahnklinke betätigt, die z. B. ein Schiffsruder oder ein Autospurrad nacheinander in mehrere Zwischenstellungen bringt. Auf Grund der mechanischen Störanfälligkeit erfreuen sich diese auch als *Schaltstern* bekannten Einrichtungen keiner großen Beliebtheit, da die Steuerungsmöglichkeiten ebenfalls begrenzt sind und einfacher elektronischer Aufwand mit größerem mechanischem Aufwand erkauft werden muß. Diese Notlösungen wurden daher auch bald von der sogenannten *Mehrkanalanlage* verdrängt. Lediglich einige mit Relaiskombinationen arbeitende Kunstschaltungen werden teilweise heute noch angewendet. Hierüber ist Näheres u. a. in der Broschüre von *D. Franz, Relaisschaltungen für Bastler,* Heft 48 der Reihe *Der praktische Funkamateur,* zu finden. Dort wird u. a. beschrieben, wie man mit mehreren Relais und mit der einfachen Übertragung nach Bild 2 mehrere Ein/Aus-Kommandos (auch nur nacheinander und in festliegender Reihenfolge) übertragen kann.

1.2.2. Mehrfachkommandos mit Tonmodulation (Mehrkanalanlagen)

1.2.2.1. Kanalfolge-Verfahren

Meist ist es erforderlich, mehrere Ein/Aus-Kommandos in beliebiger Reihenfolge und gegebenenfalls sogar gleichzeitig und unabhängig voneinander übertragen zu können. Hierfür hat sich beim Amateur das Mehrkanal-Verfahren mit Tonmodulation durchgesetzt. Der Begriff *Mehrkanal* ist dabei nicht so zu verstehen, daß dafür mehrere Sender und Empfänger notwendig sind; es können über einen Sender und einen Empfänger mehrere *Befehls*kanäle über tragen werden. Man läßt den Sender ständig durchlaufen und moduliert ihn mit einem Ton. Dieser Ton stellt den *Ein*-Befehl dar, während sein Ausbleiben dem *Aus*-Befehl entspricht. Wählt man nun unterschiedliche Tonhöhen, so kann man diese hinter dem Empfänger im Kommando-Auswerter trennen. Jede Tonfrequenz betätigt dann nur das ihr zugeordnete Relais und über dieses die dem betreffenden Ton zugeordnete Rudermaschine. Bild 4 zeigt das Prinzip.

Der Geber besteht jetzt aus einem NF-Oszillator, dessen Frequenz man umschalten kann. In Bild 4 ist der frequenz-

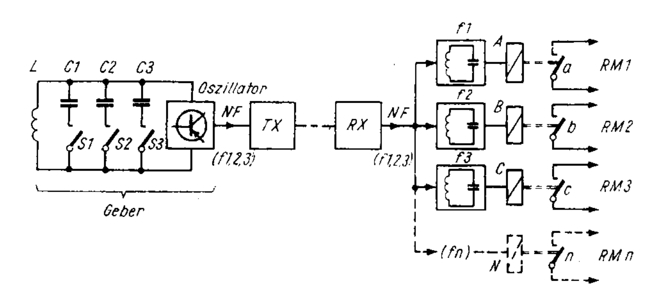


Bild 4 Tonmodulation des Senders. Der Geber kann verschiedene Frequenzen im NF-Bereich erzeugen (f 1 ··· f 3); je nach Frequenz spricht das zugehörige Empfängerrelais an

bestimmende LC-Schwingkreis außerhalb des Gebersymbols angedeutet. C 1 · · · C 3 haben verschiedene Kapazitäten. Je nachdem, ob S 1, S 2 oder S 3 geschlossen wird, erzeugt der Oszillator die Tonfrequenz f 1, f 2 oder f 3. Ist kein Schalter geschlossen, so wird kein Ton erzeugt und damit auch kein Kommando übermittelt. Man kann hiermit nicht nur 3 verschiedene Kommandos übermitteln, sondern bei geeigneter Abstufung von C 1 · · · C 3 sogar bis zu 7 verschiedene Kommando-Tonfrequenzen erzeugen, wobei z. B. die tiefste Frequenz dann entsteht, wenn alle 3 Schalter geschlossen sind. Mit S 1 · · · S 3 kann man daher je nach Kombination bis zu 7 Ein/Aus-Kommandos in beliebiger Reihenfolge, jedoch nur nacheinander, übermitteln. Gleichzeitige Übermittlung zweier Kommandos ist auf diese Weise nicht möglich, da stets nur ein Ton erzeugt wird. Die Schaltung bildet daher eine 7-Kanal-Folgeschaltung.
Der Kommando-Auswerter empfängerseitig besteht aus einzelnen Filterkreisen für die Frequenzen f 1, f 2, f 3 usw. (ggf. bis f 7). Je nach gesendeter Frequenz zieht nur das Relais an, bei dem sich der entsprechende Filterkreis mit der Sender-Modulationsfrequenz in Resonanz befindet. Jeder senderseitig erzeugten Frequenz ist daher eine Rudermaschine RM 1 · · · RM n fest zugeordnet, die in beliebiger Reihenfolge nacheinander geschaltet werden können. Es kann aber stets nur eine Rudermaschine eingeschaltet sein.

1.2.2.2. Mehrkanal-Simultanverfahren

Eine Verbesserung läßt sich leicht erreichen, wenn im Geber mehrere getrennte Tongeneratoren angeordnet werden, wie Bild 5 zeigt. S 1 schaltet Oszillator Osz 1 ein, womit sich Kommando-Tonfrequenz f 1 ergibt, usw. Man kann jetzt mehrere Töne gleichzeitig übertragen, üblich sind Anlagen für 2, 4 und 8 Kanäle. Empfängerseitig entspricht die Anordnung der in Bild 4. Aus dem ankommenden Tongemisch „sucht" sich jeder Filterkreis seine Kommandofrequenz heraus, falls sie vorhanden ist.

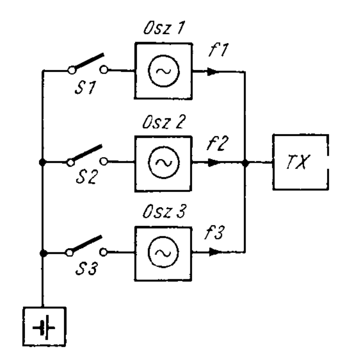


Bild 5
Um bei Verfahren nach Bild 4 mehrere Relais gleichzeitig betätigen zu können, muß der Sender mehrere Tonfrequenzen zugleich übertragen. Daher sind getrennt schaltbare NF-Oszillatoren Osz 1 ··· Osz 3 erforderlich

Mit einer solchen Steuerung können je nach Materialaufwand eine große Anzahl von Ein/Aus-Kommandos gleichzeitig sowie in beliebiger Folge und Zeitdauer übermittelt werden. Hiermit sind bereits sehr vielseitige Steuerungen möglich; deshalb hat sich dieses Prinzip in der Modellfernsteuerung weitgehend eingebürgert. Es hat lediglich einen Mangel: Alle Ruderorgane kennen nur die Schaltzustände Ein/Aus.

Will man beispielsweise die Geschwindigkeit eines Antriebsmotors in mehreren Stufen regeln, so ist man gezwungen, diesem Motor mehrere Befehle und Kommandorelais im Empfänger zuzuordnen, die dann die Betriebsspannung über verschiedene Vorwiderstände an den Motor legen. Ähnlich läßt sich eine Drehrichtungsumkehr (Rückwärtsfahrt) erreichen. Das zeigt aber auch, daß in solchen Fällen für 2 oder 3 Ruderorgane bereits eine ganze Anzahl von Tonkanälen und Relais erforderlich werden. Schon bei kleinen Flug- und Schiffsmodellen sind daher 8-Kanal-Steuerungen keine Seltenheit. Eine stufenlose Regelung von Motoren ist jedoch mit diesen Verfahren nicht möglich. Die Unterteilung der Schaltstufen für einen Motor hat wegen der notwendigen Tonkanalanzahl Grenzen, falls man nicht einen Schrittschalter nach Bild 3 an die Stelle eines der Relais (Bild 4) setzt. Man kann auch durch Relaiskombinationen eine erhöhte Kommandozahl bei gleicher Kanal-

zahl erreichen. Wird z. B. entsprechend Bild 4 ein zweiter a-Kontakt mit einem zweiten b-Kontakt in Serie gelegt, so ist dieser Stromkreis nur dann geschlossen, wenn A und B gleichzeitig ziehen. Man hat dann mit dem Ton f 1 einen Befehl, mit f 2 den 2. und mit der Tonkombination f 1 + f 2 den 3. Befehl. Dazu gibt das erwähnte Heft 48 von *D. Franz, Relaisschaltungen für Bastler,* zahlreiche Anregungen. Dort ist u. a. ein kompletter Funkfernsteuerungsempfänger für ein Schiffsmodell zu finden, bei dem eine größere Anzahl von Steuerbefehlen mit nur 3 Tonfrequenzen und ihren Kombinationen nach dem beschriebenen Verfahren erreicht werden.

Für die Erzeugung der Tonfrequenzen und für ihre Übertragung wird man keinen allzugroßen Aufwand treiben, zumal die Übertragungsqualität dabei wenig interessiert. Dadurch kommt es aber beim Simultanbetrieb zur unvermeidlichen Oberwellenbildung, da sich die mehreren gleichzeitig vorhandenen Tonfrequenzen mischen und überlagern. Werden z. B. die Töne 800 Hz und 1200 Hz gleichzeitig übertragen, so sind am Empfängerausgang unter Umständen noch die Oberwellen 1600 Hz, 2400 Hz sowie die Mischprodukte 400 Hz und 2000 Hz vorhanden. Entspricht eine dieser Frequenzen der Kommandofrequenz eines anderen Tonkanals, so wird dieser mit ausgelöst, und es kommt zur Fehlsteuerung. Daher dürfen die Tonfrequenzen nicht beliebig gewählt werden, sondern sie sind so festzulegen, daß ihre Oberwellen und Mischprodukte außerhalb der Tonkanalfrequenz liegen.

Je nach Kanalfrequenz kann man außerdem die Frequenzabstände nicht beliebig groß wählen; des weiteren sind wegen des Aufwands in den Filtern des Kommando-Auswerters hohe Tonfrequenzen günstiger. An die Selektivität (Resonanzschärfe) dieser Filter sind daher beachtliche Anforderungen zu stellen, woraus für die NF-Generatoren im Geber wiederum die Forderung an gute Frequenzkonstanz resultiert. Bei Anlagen mit höherer Kanalanzahl ist die Beherrschung dieser Probleme nicht immer ganz einfach. Außer im bereits genannten Heft von *D. Franz* sind hierüber ausführ-

liche Hinweise u. a. von *Lindemann* in der Zeitschrift *funkamateur*, Heft 1/1964 („*Hinweise für den Fernsteuer-Mehrkanalbetrieb*"), veröffentlicht; dort ist auch eine Frequenztabelle für eine oberwellensichere NF-Kanalverteilung zu finden. Ein näheres Eingehen auf diese Problematik übersteigt den Rahmen dieser Broschüre.

1.2.3. Das Proportionalimpulsverfahren

Gänzlich anders als die bisher genannten Verfahren arbeitet das Proportionalimpulsverfahren, das gerade für den Amateur Vorteile bietet, die noch wenig genutzt werden. Es handelt sich um eine echte kontinuierliche Fernsteuerung, die im Gegensatz zu den bisher besprochenen Ein/Aus-Verfahren auch die Einstellung der Ruderorgane auf beliebige Zwischenwerte ermöglicht. Dieses Verfahren eignet sich daher insbesondere für Drehzahlregelungen von Motoren, kann aber auch für gleitende Ruder- oder Lenkorgan-Betätigung verwendet werden. Man geht dabei von einer Rechteckimpulsschwingung aus, deren Impulsbreite kontinuierlich geändert wird und den Befehlsinhalt darstellt. Bild 6 veranschaulicht das Prinzip. Dargestellt ist eine Rechteckschwingung, deren positive Halbwelle die Zeitdauer t 1 hat, die negative die Zeitdauer t 2. Die Frequenz

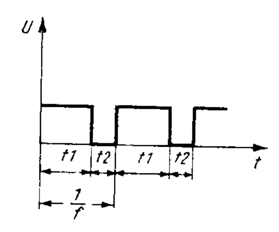


Bild 6 Rechteck-Impulsform beim Proportionalimpulsverfahren. Das empfängerseitige Flatterrelais ist jeweils während Impulsdauer t 1 angezogen, während der Impulspause t 2 abgefallen. Werden t 1 und t 2 gegenläufig geändert, so kann man bei gleichbleibender Impulsfrequenz die Anzugsdauer des Relais kontinuierlich ändern

dieser Schwingung entspricht daher der Zeitdauer beider: $f = \frac{1}{t1 + t2}$. Im einfachsten Falle erhält man diese Schwingung durch periodisches Einschalten (t 1) und Ausschalten (t 2) einer Spannung. Verlängert man die Einschaltdauer t 1 und verkürzt man gleichzeitig die Ausschaltdauer t 2 um den gleichen Betrag, so bleibt die Impulsfrequenz konstant, während sich Impulsbreite t 1 und Breite der Impulspause t 2 gegenläufig ändern. Das Maß dieser Änderung kann als Befehlsinhalt dienen; das jeweils übertragene Kommando wird durch das *Tastverhältnis* t 1/t 2 dargestellt. Da man das Tastverhältnis leicht kontinuierlich ändern kann, ist damit eine kontinuierliche Kommandoübermittlung möglich. Bild 7a zeigt die Prinzipschaltung einer solchen Proportionalimpulssteuerung (der Name besagt, daß das Kommando dem Impulstastverhältnis proportional ist). Ein ständig arbeitender Rechteckgenerator bildet jetzt den Geber. Mit dem Befehlsorgan (Bedienungsorgan) R — einem Potentiometer — ändert man das Tastverhältnis t 1/t 2, wobei die Impulsfrequenz f konstant bleibt. Diese Impulsfolge wird dem Sender aufmoduliert und übertragen, steht also am Empfängerausgang wieder zur Verfügung. Als Kommando-Auswerter ist in der Schaltung nach Bild 7a vereinfacht ein Relais Rel dargestellt. Er zieht stets während der Impulsdauer t 1 an und fällt während der Impulspause t 2 wieder ab, arbeitet also periodisch – sein Anker flattert. Dieses Relais wird daher im folgenden kurz *Flatterrelais* genannt. Damit der Relaisanker den Impulsen exakt folgen kann, müssen 2 Bedingungen erfüllt sein: Das Relais muß einen leichten, kleinen Anker mit möglichst geringer Trägheit haben (Miniaturrelais oder Telegrafenrelais; normal große Fernmelderelais sind wenig geeignet), und die Impulsfrequenz f darf nicht sehr hoch sein. Üblich sind hierfür Werte um 4 Hz bis 25 Hz.

Relaiskontakt rel öffnet und schließt periodisch; der Rudermotor RM erhält also in Form periodischer Stromstöße die volle Spannung. Wie lange die Spannung anliegt, hängt

vom Tastverhältnis ab (Impulsdauer t 1!). Je kürzer t 1 ist, desto kürzer wird die Zeit, in der RM angeschaltet bleibt, und desto länger die Abschaltzeit. RM ist zu träg, um den einzelnen Stromstößen zu folgen. Der Motor dreht sich gleichmäßig, und zwar um so schneller, je länger t 1 im Verhältnis zu t 2 wird. Man kann also durch Änderung des Tastverhältnisses die Drehzahl in weiten Grenzen regeln, jedoch nicht ganz auf Null bringen und auch die Drehrichtung nicht ändern.

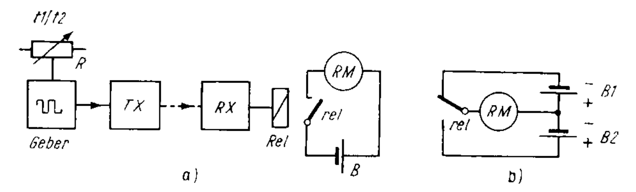


Bild 7 a – Prinzipaufbau der Proportionalimpulsfernsteuerung. R verändert das Impulstastverhältnis t 1/t 2 (vgl. Bild 6). Rel „flattert" im Takt der Impulsdauer t 1
b – Prinzip der Motorregelung durch den flatternden Relaiskontakt rel. Rudermotor RM, der ständig an voller Spannung liegt, wird laufend umgepolt; B 1 = B 2

Das gelingt nur, wenn man die Schaltung gemäß Bild 7b wählt. RM wird jetzt abwechselnd an 2 Batterien, B 1 und B 2, angeschaltet und dabei ständig umgepolt. Der Motoranker ist daher bestrebt, ständig wechselnd nach rechts oder links durchzudrehen, kann aber dem schnellen Impulswechseln nicht folgen (jetzt entspricht t 1 z. B. Rechtslauf, t 2 Linkslauf). Sind t 1 und t 2 gleich lang, so heben sich die beiden entgegengesetzten Antriebsphasen im Motoranker auf, der Anker wird auf der Stelle lediglich ein wenig „rütteln", aber nicht durchdrehen. Das Tastverhältnis 1 : 1 (t 1 = t 2) entspricht somit dem Motorstillstand. Je nachdem ob nun t 1 oder t 2 länger wird, überwiegt die zugehörige Antriebsphase, und der Motor setzt sich entweder in Rechts- oder Linkslauf in Gang, wobei die Drehzahl dem Verhältnis t 1/t 2 entspricht. Der Motor kann da-

her durch Regelung des Tastverhältnisses aus dem Stillstand kontinuierlich nach beiden Richtungen bis nahezu zur Höchstgeschwindigkeit angefahren werden (maximale Drehzahl ergäbe sich bei Dauerton oder bei Impulsausfall, d. h., wenn entweder t 1 oder t 2 Null wird; beides wendet man aber nicht an).
Das Verfahren hat einige für den Modellbau entscheidende Vorzüge. Eine Drehrichtungsänderung ist kontinuierlich ohne grundsätzliche Kommandoartänderung und ohne Zusatzkommando möglich. Wegen der ständigen Umpolung (der Motor liegt also auch im Stillstand an der vollen Batteriespannung!) „rüttelt" der Anker und mit ihm das angeschlossene Getriebe, so daß die Haftreibung nahezu vollständig beseitigt wird. Es gelingt ohne weiteres, einen üblichen Modellmotor für etwa 2000 U/min mit Drehzahlen von 50 bis 100 U/min anlaufen zu lassen bzw. bis auf diese geringe Drehzahl herabzuregeln, wobei auch bei geringsten Drehzahlen noch exakte Regelung möglich ist. Man kann damit auch schnellfahrende Modelle im Zeitlupentempo anfahren und millimetergenau rangieren, was mit keinem anderen Verfahren gelingt. Dieses Verfahren eignet sich sehr gut für Schiffs- und Bodenfahrmodelle. Es ist anderen Fernsteuerverfahren vergleichbaren Aufwands besonders durch die außerordentliche Störunempfindlichkeit überlegen.
Bei der Übertragung des Kommandos muß man beachten, daß es sich um eine sehr niederfrequente Rechteckimpulsfolge handelt, deren Rechteckform nicht verschliffen werden darf, da der Kommando-Auswerter sonst die Impulszeiten t 1 und t 2 nicht exakt erfassen kann. Das bedeutet, die Übertragungseinrichtung muß eine sehr niedrige Grenzfrequenz (unter 1 Hz) haben. Bei drahtgebundenen Fernsteuerungen spielt das keine Rolle. Bei anderen Übertragungsverfahren wendet man, um dieses Problem zu umgehen, das Prinzip der NF-Trägermodulation an: Es wird eine gleichbleibende Tonschwingung von einigen 100 Hz oder 1000 Hz, deren Frequenz zunächst nebensächlich ist, im Rhythmus der Proportionalimpulsfolge getastet. Bei-

spielsweise kann man die Trägerfrequenz mit etwa 700 Hz wählen. Dieser Wert läßt sich gut übertragen und stellt an den Verstärker usw. keinerlei Anforderungen. Die Tonfrequenz kann nun im Rhythmus der Impulsfolge, die z. B. 20 Hz beträgt, ein- und ausgeschaltet werden. Nach der Schaltung (Bild 6) wäre dann im Zeitraum t 1 die NF-Trägerschwingung 700 Hz vorhanden, während der Zeit t 2 nicht. Das wird später noch genauer erläutert. Durch diesen Kunstgriff hat man nicht die tiefe Frequenz von 20 Hz, sondern eine impulsartig auftretende Frequenz von z. B. 700 Hz zu übertragen (diese Übertragung hört sich wie ein rasch abgehacktes „tütütütüt" an). Der empfängerseitige Kommando-Auswerter gewinnt aus dieser Impulsfolge durch Gleichrichtung der 700-Hz-Schwingung die 20-Hz-Impulsfolge wieder zurück, die danach dem Flatterrelais zugeführt wird. Das Prinzip nach Bild 7 bleibt dabei unverändert.

1.2.4. Kombinationsverfahren

Das Proportionalimpulsverfahren ermöglicht Kombinationen mit Ein/Aus-Kommandos sowie von Proportionalverfahren untereinander. Man kann 2 Proportionalimpulsfolgen 2 verschiedenen NF-Trägern (z. B. 700 Hz und 7 kHz) aufmodulieren. Empfängerseitig werden beide NF-Trägerfrequenzen durch Filter getrennt. Auf Grund des erreichbaren großen Frequenzabstands gelingt das Trennen wesentlich einfacher und betriebssicherer als beim Simultanverfahren mit Ein/Aus-Kommandos. Hinter den Filtern hat man dann wieder 2 getrennte Proportionalkommandos zur Verfügung, mit denen man z. B. Seitenruder und Antrieb eines Modells kontinuierlich nach beiden Seiten regeln und damit bereits fast alle Manövrieraufgaben erfüllen kann.
Aber auch mit einem einzigen Proportionalkommando kann man zusätzlich noch mehrere Ein/Aus-Kommandos nach dem Kanalfolge-Verfahren übermitteln. Da die Fre-

quenz der NF-Trägerschwingung für das Proportionalverfahren ohne Bedeutung ist, läßt sie sich hierfür verwenden. Bild 8 zeigt das Prinzip. Der Geber enthält jetzt außer dem Rechteckgenerator noch den erwähnten NF-Trägerton-Generator. R 1 regelt das Tastverhältnis des Rechtecks, R 2 regelt die Frequenz der Trägertonschwingung. Danach entspricht die Übertragung bis zum Empfängerausgang dem schon Bekannten. Der Kommando-Auswerter enthält – vereinfacht gezeigt – das Proportional-Flatterrelais P; vor diesem befindet sich im endgültigen Gerät noch der Gleichrichter zur Rückgewinnung der 20-Hz-Proportionalimpulsfolge aus der NF-Trägertonschwingung. Außerdem sind die Tonfrequenzfilter f 1 und f 2 vorhanden. Je nach Trägertonfrequenz ist eines dieser Filter (es können mehr als 2 sein, da dieser Teil dem Kanalfolge-Verfahren nach Bild 4 entspricht) in Resonanz, und das ihm folgende Rel I oder Rel II zieht. Mit R 2 im Geber (zweckmäßig Stufenschalter, nicht Regler) kann man also zusätzlich die Lampen La 1 oder La 2 (als angenommene Ruderorgane im Modell) schalten und zugleich Rudermotor RM unabhängig davon kontinuierlich mit R 1 regeln.
Bei den Rel I und Rel II sind Diode D und Kondensator C symbolisch angedeutet. Damit wird ein Flattern dieser Relais im Takt der Proportionalimpulse verhindert, da die Tonfrequenz hinter den Filtern ja im Rhythmus der Impulse aussetzt. Kondensator C verhindert den Relaisabfall während der Impulspausenzeit t 2.
Grundsätzlich wäre es möglich, die Tonträgerfrequenz mit R 2 kontinuierlich regelbar zu machen und ein Filter so abzustimmen, daß die Tonfrequenz auf der Filterflanke liegt. Bei Frequenzänderung würde sich dann die Ausgangsspannung hinter dem Filter ändern, wodurch man eine zweite Proportionalregelung erreichen könnte. Dieses zunächst bestechend einfache Verfahren hat aber mehrere Nachteile. Es gehen jetzt u. a. die Übertragungseigenschaften zwischen TX und RX ein (Feldstärkeschwankung ergibt ebenfalls Amplitudenschwankung am Filterausgang

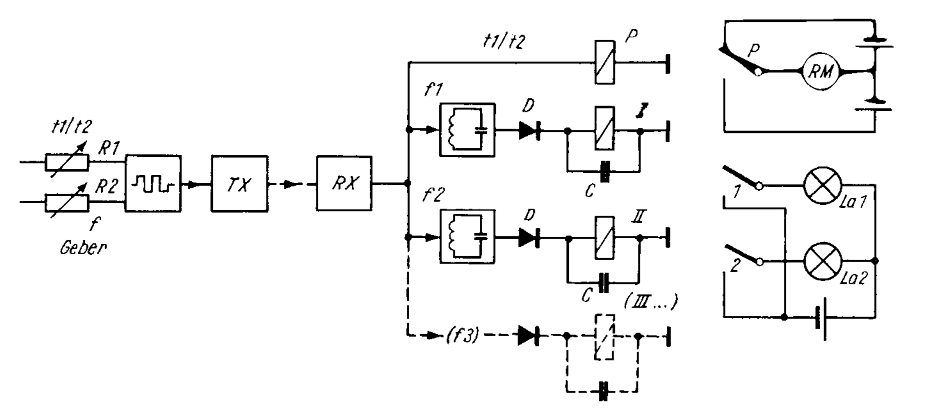


Bild 8 Kombination einer Proportionalimpulssteuerung (R 1 und P) mit einer Tonfrequenzsteuerung (R 2, I, II) nach den Verfahren Bild 4 und Bild 7

und täuscht Steuerkommando vor!), falls nicht im Empfänger besondere aufwendige Maßnahmen dagegen getroffen oder die Filter kompliziert (Diskriminatorschaltungen) aufgebaut werden. In der Literatur wird gelegentlich auch vorgeschlagen, auf den Trägerton zu verzichten und die Frequenz der Proportionalimpulse (t 1 + t 2) regelbar zu machen, um damit zu einem zweiten Proportionalkanal zu kommen. Diese Varianten spielen in den Proportionalsteuerungen der militärischen Fernlenktechnik und der Satellitentechnik eine gewisse Rolle, sind aber mit dem im allgemeinen geringeren Aufwand des Amateurs nicht betriebssicher zu gestalten. Immerhin ist die Kenntnis dieser Varianten auch für den Amateur wichtig und für die Möglichkeiten des Proportionalimpulsverfahrens kennzeichnend.

Eine andere Möglichkeit dagegen ist sehr einfach und auch für den Amateur wertvoll. Vergegenwärtigen wir uns an Hand von Bild 7b, was geschieht, wenn die Impulsfolge durch eine Übertragungsstörung ausfällt. Relais Rel

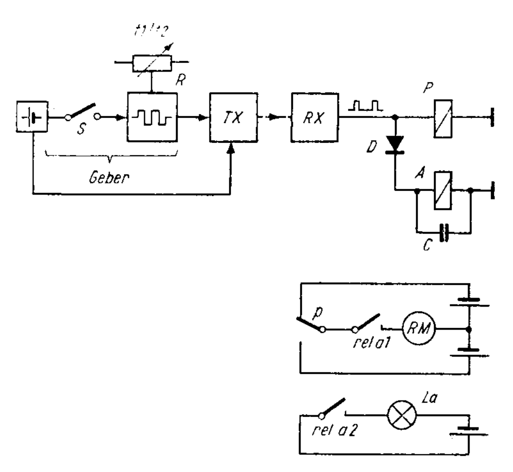


Bild 9 Impulsausfallkontrolle mit gleichzeitiger Ausnutzung für den zweiten Ein/Aus-Kommandoweg; A = Ausfallrelais

bleibt dann abgefallen, rel in einer Endlage — der Rudermotor dreht in der zugehörigen Drehrichtung mit Höchstgeschwindigkeit! Das ist ein Mangel des Grundprinzips, der sich leicht beheben läßt. Die erforderliche Zusatzmaßnahme zur Verhinderung dieser Störung ergibt gleichzeitig einen zweiten Kommandokanal. Bild 9 zeigt das Prinzip.

Die Schaltung gemäß Bild 7 ist jetzt geberseitig durch den Schalter S erweitert (mit dem man den Rechteckgenerator abschalten kann), empfängerseitig durch Relais A mit Diode D, Kondensator C und durch die Kontakte rel a 1, rel a 2. P stellt das schon bekannte Flatterrelais dar. Über D wird die Impulsfolge gleichgerichtet; A bleibt daher so lange angezogen, wie die Impulsfolge vorhanden ist. C verhindert den Abfall des Relais in den Impulspausen und soll so bemessen sein, daß Relais A bei der betriebsmäßig auftretenden kürzesten Impulsdauer t 1 gerade noch nicht abfällt. Bei einer Impulsfrequenz von 20 Hz wäre dem Relais A mit geeignet bemessenem C eine Abfallverzögerung von etwa 0,1 s zu geben. Jeder Impuls t 1 lädt C wieder nach. Über a 1 ist der Motorstromkreis geschlossen. Sobald die Impulsfolge ausbleibt (Öffnen von S im Geber oder Störung), fällt 0,1 s später das Rel A ab, weil C nicht mehr nachgeladen wird. Den Motor schaltet rel a 1 ab, der somit nicht mehr durchgehen kann. Weitere a-Kontakte können andere Schaltvorgänge oder Signalisierungen in der Bordanlage des Modells auslösen (hier durch rel a 2 und La dargestellt) oder alle Geräte der Bordanlage bis auf RX stillegen. Mit erneut einsetzender Impulsfolge zieht A sofort wieder an. Auch in diesem Fall kann man durch von A gesteuerte Relaiskombinationen oder Schrittschalter weitere Ein/Aus-Kommandos erreichen. Während der Proportionalisierung werden dann die Ein/Aus-Kommandos dadurch ausgelöst, daß man die Impulsfolge im Geber mit S für etwas länger als 0,1 s unterbricht. Das führt zum kurzzeitigen Abfall und zum sofortigen Wiederanziehen von A, was aber für RM keine merkliche Wirkung hat. Diese Hinweise mögen genügen.

Einige Anwendungsbeispiele für solche Kombinationen sind außer in diesem Heft u. a. im *Elektronikbastelbuch* des Verfassers (Deutscher Militärverlag 1968) und bei der vom Verfasser im *Elektronischen Jahrbuch 1965* (Deutscher Militärverlag) beschriebenen Schiffsmodell-Proportionalsteuerung zu finden.

1.3. Übertragungsart

1.3.1. Drahtgebundene Verfahren

Zur drahtgebundenen Übertragung erübrigen sich lange Erklärungen. In diesem Fall tritt an die Stelle der Strahler-Antenne-Übertragungsstrecke die Kabelleitung (vgl. Bild 1). TX und RX können meist entfallen, da der Geber gewöhnlich das Kommando bereits in der gleichen Form abgibt, wie es der Kommando-Auswerter benötigt. Am Leitungseingang befindet sich der Geber, am Leitungsausgang der Kommando-Auswerter. Diese Anordnung ermöglicht außerordentlich einfache Schaltungen, wie sie z. B. in der Spielzeugindustrie üblich sind (Automodell mit Nachschleppkabel und einfachem Ein/Aus-Kommando-Verfahren). Aber auch für den Amateur ist dieses Verfahren keineswegs zu „primitiv". Proportionalimpulssteuerungen für Automodelle werden mit Nachschleppkabel konstruktiv sehr einfach. Bei Fesselflugmodellen kann man die Fessel als Steuerkabel für zusätzliche Effekte mitbenutzen. Bei drahtlos gesteuerten größeren Schiffsmodellen ist es möglich, mit einem kurzen Schleppkabel ein vom „Mutterschiff" gesteuertes „Beiboot" auszusetzen (sekundäre Fernsteuerung). Des weiteren wird die leitungsgebundene Übertragung in der kommerziellen Fernwirktechnik, die ebenfalls in dieses Gebiet gehört (z. B. Signal- und Sicherungstechnik der Reichsbahn), sehr häufig angewendet. Ihr Hauptvorzug: Sie ist sehr einfach und relativ störsicher.

1.3.2. Akustische Übertragung (Schall und Ultraschall)

Bild 10 zeigt den Sender als akustischen Sender, d. h. als NF-Verstärker, den Strahler als Lautsprecher. Die Antenne ist in diesem Fall ein Mikrofon, der Empfänger der zugehörige Mikrofonverstärker. Kommerziell wird dafür hauptsächlich Ultraschall benutzt, für Amateurzwecke scheidet das auf Grund des Aufwands aus (Hauptproblem: Es fehlen ausreichend leistungsfähige Schallwandler für Ultraschall!). Es besteht auch keine Notwendigkeit, unbedingt Ultraschall als Informationsträger zu benutzen, da sich Hörschall einfacher anwenden läßt sowie durch die unmittelbare Gehörkontrolle sogar eindrucksvoller und zweckmäßiger ist. Die akustische Übertragung hat jedoch gerade für den Amateur entscheidende Nachteile: Im Freien tritt schon bei mittleren Reichweiten ein beträchtlicher Schalleistungsbedarf auf, da man den Empfänger nicht beliebig empfindlich auslegen kann (Störungen durch die eigenen Antriebsgeräusche des Modells!). In geschlossenen Räumen kommen noch Unsicherheiten durch Reflexion des Schalles an Wänden usw. hinzu, die zu partieller Auslöschung, zu Echostellen o. ä. führen und eine sichere Steuerung außerordentlich erschweren. Störungen durch Fremdschall kann man bei entsprechendem Aufwand durch selektiv arbeitende Empfänger einigermaßen vermeiden. Die Empfänger müssen schmalbandig auf eine Tonfrequenz abgestimmt sein (günstigster Frequenzbereich bei 5 kHz bis 10 kHz) und dürfen nicht auf andere Töne ansprechen. Dieses Verfahren hat allerdings zahlreiche betriebliche Nachteile.
Eine Sonderstellung, die für Amateurzwecke bislang noch wenig erschlossen ist, aber ein dankbares Experimentierfeld bietet, nimmt die Unterwasserschallsteuerung von Schiffsmodellen ein. Hierbei sind Reichweiten von 50 m bis 80 m möglich. Gerätemäßig entspricht der Aufbau dem zu Bild 10 Gesagten; der Strahler ist ein Unterwasserlautsprecher und die Antenne ein Unterwassermikrofon. Abschnitt 2.2.1.1. gibt dazu einige Hinweise.

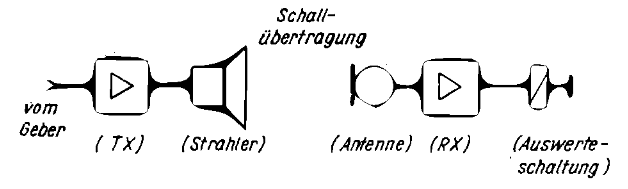


Bild 10 Prinzip der akustischen Übertragung

1.3.3. Optische Übertragung mittels Lichtstrahl

Das Verfahren (Bild 11) ist relativ einfach und recht interessant, jedoch nicht allgemein zu verwenden, da diese Übertragung die Eigenschaft einer „Richtfunkverbindung" hat. Den Strahler stellt in den meisten Fällen eine in einem Hohlspiegel angeordnete Glühlampe La dar, die „Antenne" ist ein lichtempfindliches Bauelement, z. B. Fotodiode, Fototransistor, Selenfotoelement. Im allgemeinen (außer bei ganz einfacher einkanaliger Ein/Aus-Steuerung) wird man Fotodiode oder Fototransistor verwenden müssen, da Fotowiderstand und Selenfotoelement entweder bereits zu träge sind (zu niedrige Grenzfrequenz) oder nicht genügende Empfindlichkeit ergeben. Eine ganz beachtliche Reichweitensteigerung ist möglich durch die Anwendung einer Sammellinse beim Empfänger, in deren Brennpunkt man die Fotodiode (den Fototransistor) anordnet. Allerdings läßt sich das nur bei stehenden Modellen verwirklichen, da bei geringer Standortänderung von

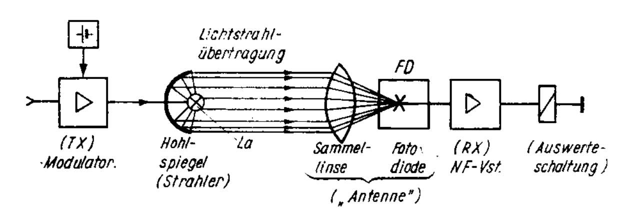


Bild 11 Prinzip der optischen Übertragung. Der Lichtstrahl wird helligkeitsmoduliert

Sender oder Empfänger die Fotodiode aus dem Brennpunkt der Linse kommt, womit die Übertragung abreißt.
Für Kanalfolge- oder Simultansteuerung mit Tonfrequenzen sowie für Proportionalimpulsverfahren arbeitet man mit *moduliertem Licht.* Die dem TX (der in diesem Fall besser als Modulator, nicht als Sender, bezeichnet wird) zugeführte Tonfrequenz moduliert das Licht in seiner Helligkeit. Dabei muß man beachten, daß je nach Lampentyp La (der von der vorgesehenen Reichweite abhängt) die obere Grenzfrequenz für die Übertragung bei höchstens 6 kHz bis 7 kHz liegt, oft aber schon bei etwa 3 kHz, was für Kanalfolge- oder Simultansteuerungen nach dem dazu bereits Gesagten nicht sehr günstig ist. Für Proportionalsteuerungen mit Tonträgerfrequenzen um 700 Hz lassen sich jedoch nach diesem Verfahren durchaus Reichweiten bis 250 m erzielen, bestmögliche Lichtbündelung auf beiden Seiten vorausgesetzt. Diese Art Lichtstrahlübertragung empfiehlt sich insbesondere für ortsfeste Fernsteuerungen (nichtbewegliche Modelle bzw. fernschalttechnische und fernwirktechnische Aufgaben), die damit außerordentlich störsicher werden. Eine mit moduliertem Licht arbeitende Übertragung ist durch Fremdlicht praktisch kaum zu beeinflussen und daher auch am Tage unvermindert einsatzfähig!

1.3.4. Magnetische Übertragung (Induktionsschleifenverfahren)

Interessant ist das Induktionsschleifenverfahren in bezug auf Fahrmodelle, die auf kleiner Fläche betrieben werden sollen, aber auch wenn man Schiffsmodelle in kleineren Bassins fahren lassen will. Es erfordert verhältnismäßig wenig Aufwand. Bild 12 zeigt das Prinzip. Ebenso wie bei den vorangehend genannten Verfahren handelt es sich um ein niederfrequentes — und damit genehmigungsfreies! — Verfahren. Der TX ist ein NF-Verstärker mit wenigen Watt Ausgangsleistung, der an Stelle eines Lautsprechers eine

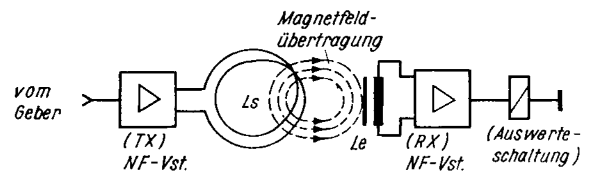


Bild 12 Prinzip der magnetischen Übertragung mit Induktionsschleife. Ls = Sendeschleife, Le = Empfängerspule (Fangspule)

großflächige, aus wenigen Windungen bestehende Induktionsschleife speist (Ls). Diese Schleife (Ls) umfaßt die Fläche, innerhalb der sich das Modell bewegt (Scheuerleiste eines Raumes oder Bassinrand). Das Modell enthält als „Antenne" eine kleine Induktionsspule (Fangspule) Le, der als „Empfänger" ein NF-Verstärker nachfolgt. Gegenüber der akustischen Übertragung (Bild 10) wird also nur der Lautsprecher durch die Induktionsschleife Ls (Sendeschleife), das Mikrofon durch die Fangspule Le ersetzt. In dieser induziert das Magnetfeld der Sendeschleife eine entsprechende Spannung.

Das Verfahren ist relativ unkompliziert und entspricht etwa den Schwerhörigen-Induktionsschleifen moderner Lichtspielhäuser und Theater. Falls für TX ein kräftiger NF-Verstärker mit etwa 15 W bis 25 W Ausgangsleistung benutzt wird, kann Ls die Fläche größerer Säle oder Hallen umfassen und das Modell sicher gesteuert werden. Für Heimzwecke (10 m^2 bis 15 m^2 für Ls) läßt sich TX ohne weiteres noch mit Transistoren ausstatten, da schon Leistungen um 1 W genügen.

Übrigens ist dafür auch ein normaler Wechselstrom-Rundfunkempfänger mit niederohmigem Lautsprecherausgang (an den Ls angeschlossen wird; Windungszahl bei 2 bis 6 Wdg. je nach Fläche) gut geeignet, dessen Tonabnehmereingang man das vom Geber gelieferte NF-Signal zuführt. Ls verlegt man mit normalem Leitungsmaterial (Klingeldraht); etwaige Rohre oder Umhüllungen müssen jedoch nichtmetallisch sein. Im wesentlichen hat das Verfahren neben dem Nachteil geringer Reichweite (nur in-

nerhalb Ls, außerhalb in deren unmittelbarer Nähe!) 2 Störmöglichkeiten. Die erstere besteht in magnetischen Fremdfeldern. Da das fast immer 50-Hz-Netzfrequenzstörungen sind (Netzleistungen!), legt man RX so aus, daß dessen untere Grenzfrequenz bei etwa 250 Hz bis 300 Hz bzw. höher liegt, oder man arbeitet selektiv mit einem Empfänger, der auf nur eine Tonfrequenz abgestimmt ist. Letzteres wird oft auch als Maßnahme gegen die zweite Störquelle notwendig, die beträchtlich mehr Kummer bereiten kann: Die Störungen aus den magnetfeldbehafteten Bauteilen des Modells selbst. In diesem Falle sind neben ungünstig angeordneten Relaiswicklungen vor allem die Antriebsmotore unangenehme Störer, da sie oft magnetisch streuen. Die Spule Le wird im Modell meist senkrecht stehen. Je nach Motorart probiert man zuvor aus, ob sich bei senkrechter oder waagerechter Motorlage die geringere Beeinflussung von Le ergibt (Versuch vor mechanischem Entwurf des Modells), und ordnet die Motore entsprechend an. Außerdem wird Le in größtmöglicher Entfernung von Motoren und Relais angeordnet. Relais legt man mit ihrer Spulenachse quer zu Le, d. h. im allgemeinen waagrecht, so daß die Relaisspulenachse auf Le zeigt. Motorstörungen reichen gewöhnlich bis weit über das NF-Gebiet hinaus; eine Frequenzbeschneidung des Empfängers hilft nicht immer ausreichend (ggf. obere Frequenzgrenze beschneiden). Dann bleibt nur die Selektivabstimmung des Empfängers. Diese Probleme können teilweise umgangen werden, wenn man durch geringe Fläche von Ls und kräftige Senderleistung eine kräftige Übertragung garantieren kann. Die angedeuteten Probleme treten vor allem bei sehr großflächig aufgebauten Modellanlagen und räumlich kleinen Modellen auf. Weitere Hinweise dazu werden in Abschnitt 2.3.3. gegeben.

1.3.5. Hochfrequenzübertragung (Funkfernsteuerung)

Dieses Übertragungsverfahren dominiert in der Modellsteuertechnik, da es das mit größter Reichweite und höch-

ster Beweglichkeit ist. Dem Amateur wird das Verfahren in seinen Grundzügen bekannt sein; deshalb sind zu der Prinzipdarstellung (Bild 13) keine Erläuterungen notwendig. Im Gegensatz zu den bisher genannten handelt es sich um ein hochfrequentes und damit genehmigungspflichtiges Verfahren, das bestimmten gesetzlichen Bestimmungen unterliegt.

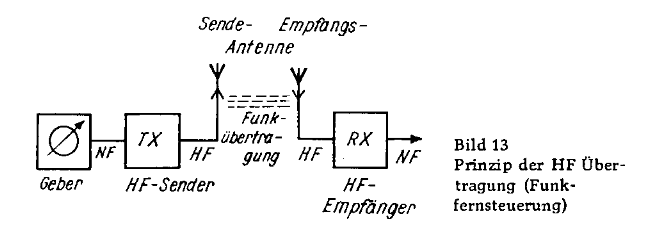


Bild 13
Prinzip der HF Übertragung (Funkfernsteuerung)

1.3.5.1. Gesetzliche Grundlagen der Modellfunkfernsteuerung

Eine gesetzliche Regelung für alle HF-Fernsteuerverfahren ist unumgänglich, da Störungen anderer kommerzieller Funkdienste leicht möglich sind und zu katastrophalen Folgen führen können. Für die DDR wurden die gesetzlichen Vorschriften in der Modellfunkordnung vom 3. 4. 1959 (veröffentlicht im Gesetzblatt, Teil I, S. 467) festgelegt. Im Rahmen dieser Broschüre kann nur ein Überblick über die wichtigsten Bestimmungen gegeben werden.

Für Sendeanlagen zur Fernsteuerung von Modellen muß nicht nur für das **Betreiben,** sondern bereits für den **Aufbau** eine **Genehmigung** eingeholt werden; der Modellbauer darf also erst mit dem Bau der HF-Geräte beginnen, wenn diese Genehmigung vorliegt! Auch ein **versuchsweiser** Aufbau ist vorher nicht zulässig! Die Genehmigung wird vom zuständigen Amtsbereich des Ministeriums für Post-

und Fernmeldewesen erteilt. Das Antragsverfahren ist in der Modellfunkordnung im einzelnen vorgeschrieben und verläuft unter weitgehender Mitwirkung der GST. Einzelheiten zum Antragsverfahren erfährt man daher am besten von der zuständigen Kreisleitung der Gesellschaft für Sport und Technik, andernfalls auch bei der jeweiligen Bezirksdirektion für Post- und Fernmeldewesen, Abteilung Funk. Dort erhält man auch Auskunft über die in der Modellfunkordnung vorgeschriebenen Einzelheiten zur Ausfertigung des Antrags und zu den Angaben (u. a. über die geplante technische Ausrüstung und Leistung der Anlage). Besondere Prüfungen (wie beim Amateurfunk) hat der Antragsteller nicht abzulegen.

Die erteilte Genehmigung berechtigt zunächst nur zum Aufbau der Anlage, jedoch noch nicht zur Inbetriebnahme. Nach der Fertigstellung, hierfür hat der Antragsteller nach der Genehmigung ein Jahr Zeit, muß diese der zuständigen MPF-Bezirksdirektion gemeldet werden. Danach überprüfen Beauftragte der zuständigen Abteilung Funk die Anlage. Die Abnahme wird auf der bereits erteilten Genehmigung bescheinigt und ist gebührenfrei. Erst danach darf die Anlage in Betrieb genommen werden. Bei der technischen Abnahme wird insbesondere kontrolliert, ob die in der Modellfunkordnung vorgeschriebenen technischen Bedingungen eingehalten wurden. Übrigens ist es ausdrücklich verboten, den Sender zur Übermittlung von Nachrichten oder zu anderen Zwecken als zur Funkfernsteuerung des Modells zu verwenden. Bei Verstößen gegen das Post- und Fernmeldegesetz sowie gegen die Modellfunkordnung kann die Genehmigung widerrufen werden.

Die technischen Bedingungen für die Genehmigung betreffen insbesondere Sendefrequenz, Sendeleistung und Störstrahlungsfreiheit. In der DDR sind für Modellsteuerungen folgende Frequenzen und Toleranzen zugelassen:

13,560 MHz ± 0,05 %
27,120 MHz ± 0,6 %
461,04 MHz ± 0,2 %

Die in anderen Ländern, u. a. in Westdeutschland, benutzte Fernsteuerfrequenz 40,68 MHz darf in der DDR nicht belegt werden. Den Amateur wird im wesentlichen die Frequenz 27,12 MHz interessieren. Die Industriefrequenz 13,56 MHz (so benannt, weil gleichzeitig industriellen HF-Wärmegeräten u. ä. zugeteilt) ist ausbreitungsmäßig und bezüglich der Antennenfragen ungünstiger; die Einhaltung der geringen zulässigen Frequenztoleranz von $\pm$ 0,05 % erfordert außerdem eine Quarzsteuerung des Senders. Die im Dezimeterwellenbereich liegende Frequenz 461,04 MHz wiederum dürfte für Amateure — abgesehen von wenigen UHF-Spezialisten — wegen ihrer Tücken und ihres Aufwands ausscheiden. Daher laufen praktisch alle in der DDR zu findenden Modellfunkfernsteueranlagen auf 27,12 MHz.

Die maximale Senderleistung wurde auf 5 W begrenzt. Das erscheint auf den ersten Blick wenig — aber nicht die Senderleistung, sondern die Empfängerempfindlichkeit bestimmt die Reichweite! Anlagen, bei denen gänzlich unempfindliche, „stocktaube“ Empfänger mit „Mammutsendern angeblasen“ werden, sollten längst der Vergangenheit angehören. Mit einem sorgfältig hingetrimmten Transistor-Pendelaudion als Empfänger erzielt man bei Sendeleistungen um 0,1 W bereits Reichweiten von einigen hundert Metern. Sendeleistungen über 0,5 W sind daher allenfalls dazu angetan, bei Modellsteuerwettkämpfen die Funk-Nachbarn und ihre Modelle zu stören; außerdem liegt dann auch die Störstrahlung unnötig hoch — und das interessiert unmittelbar die Post. Die technischen Bestimmungen schreiben nämlich als höchstzulässige Oberwellen- und Nebenwellenausstrahlung eine Feldstärke von 30 μV/m in 30 m Abstand vor; das ist besonders bei höheren Sendeleistungen nicht einfach einzuhalten. Die zulässige Senderfrequenztoleranz beträgt bei 27,12 MHz $\pm$ 0,6 %, das sind rund 300 kHz Bandbreite. Die Toleranz ist also nicht sehr groß, andererseits aber noch ausreichend, um sie mit amateurmäßigen Mitteln einhalten zu können.

Weitere Einzelheiten hierzu kann man dem Originaltext des Gesetzblatts sowie dem Beitrag *Die rechtliche Neuregelung des Modellfunks* in der Zeitschrift *radio und fernsehen,* Heft 20/1959, Seite 662/663, entnehmen.

1.3.5.2. Die Anforderungen an HF-Fernsteuersender

Die wichtigsten technischen Anforderungen ergeben sich bereits aus den vorstehend genannten gesetzlichen Bestimmungen. Durch sorgfältigen Aufbau, insbesondere der frequenzbestimmenden Teile, muß die Einhaltung der Frequenztoleranz garantiert werden. In jedem Fall ist die Quarzsteuerung das sicherste, insbesondere wenn man halbleiterbestückte Sender benutzt. Jedoch kann der erfahrene Funkamateur auch freischwingende Oszillatoren mit der erforderlichen Konstanz realisieren. Ein Quarz ist also nicht unbedingte Voraussetzung, sollte aber trotzdem nur im Notfall entfallen. Selbst Transistorsender lassen sich mit Sicherheit ausreichend frequenzkonstant aufbauen, wenn Temperaturstabilisierung sowie Temperaturkompensation sorgfältig durchgeführt werden und wenn die Speisespannung für den Oszillator mittels Z-Diode und nachgeschaltetem Regeltransistor stabilisiert wird (Z-Diode allein genügt kaum). Mit den z. Z. verfügbaren Transistoren *GF 122, GF 140* sowie den gelegentlich erhältlichen Importtypen (*P 403 A, OC 170* u. ä.) lassen sich ohne weiteres Sendeleistungen in der Größenordnung um 10 mW bis 30 mW erzielen, was für die Pendelaudionempfänger bei weitem ausreicht. Dadurch wird gleichzeitig die Einhaltung der Störstrahlungsbedingungen für den Sender vereinfacht.

1.3.5.3. Die Anforderungen an HF-Fernsteuerempfänger

Die Anforderungen an Empfänger lassen sich in Stichworten zusammenfassen: extrem klein, äußerst leicht, strom-

sparend, möglichst empfindlich, mechanisch robust. Um diese Anforderungen zu erfüllen, ist es sinnvoll, heute nur noch Halbleiter zu verwenden. Zu klären bleibt noch die Frage nach der Schaltungskonzeption. Einfache Diodenempfänger scheiden aus, weil sie zu unempfindlich sind. Nur bei kürzesten Entfernungen (wenige Meter) lassen sie sich für Sonderzwecke (Vorführungen, extrem kleine Modelle u. ä.) noch einsetzen. Es bleiben zur Auswahl das *Pendelaudion* und der *Super* (Überlagerungsempfänger). Hier dominiert derzeit der *Transistorpendler.*

Vorzüge: bei exakter Einstellung sehr empfindlich, relativ breitbandig und vor allem einfach aufzubauen.

Nachteile: starke Störstrahlung, relativ breitbandig. (Der Vorteil der Breitbandigkeit ist jedoch nur relativ zu bewerten.) Beim einmal gestarteten Modell läßt sich nachträglich nichts mehr am Empfänger verstellen. Wandert der Sender oder Empfänger etwas in der Frequenz aus, so kann bei schmalbandigem Empfänger die Verbindung abreißen und das Modell außer Kontrolle geraten, was bei Flugmodellen nicht selten mit dem Verlust des Modells endet. Ein Pendelaudion hat nur geringe Trennschärfe; es kann diesbezüglich nicht viel passieren, wenn vor dem Start einwandfrei abgeglichen wurde. Andererseits ist es bei Wettkämpfen oft unmöglich, mehrere Pendelempfänger zugleich zu betreiben, weil jeder Empfänger auf jeden Sender anspricht (die Sendefrequenzen können nur um höchstens 300 kHz auseinanderliegen!). Noch nachteiliger wirkt sich die starke Störstrahlung des Pendelaudions aus (sie ist oft stärker und weiterreichend als der Steuersender selbst!), da sie die anderen Pendelempfänger stören. Die Zukunft gehört daher (international bereits deutlich zu erkennen) dem quarzgesteuerten Sender und dem Überlagerungsempfänger (Super) mit ebenfalls quarzgesteuertem Oszillator. Für den angehenden Modellsteueramateur dürfte dagegen der Pendelempfänger zunächst noch die zweckmäßigste Lösung sein.

1.4. Technische Auslegung von Modellsteueranlagen

1.4.1. Sender

Einzelheiten zur Schaltungstechnik richten sich nach dem jeweils gewählten Übertragungsverfahren. Jedoch lassen sich unabhängig davon auch einige allgemeingültige Grundregeln aufstellen. Der Sender hat die für die Übertragungsstrecke erforderliche Leistung (je nach Verfahren HF-,NF- oder Gleichstromleistung) aufzubringen. Wie bereits gesagt, sind Röhren nur für stärkere HF-Sender notwendig (Leistungsklasse über etwa 50 mW bei Berücksichtigung des DDR-Materialangebots, über etwa 0,5 W nach internationalem Stand der Halbleitertechnik). In anderen Fällen bietet der Transistor stets die zweckmäßigere Lösung. Die Stromquellen für den Sender sollen kräftig ausgelegt sein, um trotz der relativ starken Stromaufnahme ausreichende Betriebszeit und konstantbleibende Speisespannung zu gewährleisten. Im allgemeinen dürfte die Monozelle bzw. eine Kombination von Monozellen die günstigste Lösung sein. Akkus sind demgegenüber nur dann ökonomisch sinnvoll, wenn die Anlage häufig benutzt wird. Extreme Kleinheit des Senders und damit der Stromquellen ist nicht erforderlich; der Sender soll aber gut zu handhaben sein. Gehäusevolumen unter etwa 1 l sind daher kaum sinnvoll. Bei Verwendung von Halbleitern und modernen Kleinbauteilen bleibt dann genug Platz für größere Batterieformen. Besonderes Augenmerk ist einer griffgünstigen, verwechslungssicheren Lage der Bedienungsorgane (Steuergriffe) und ihrer Ausbildung zu widmen. Miniaturbauteile, womöglich noch mit Kontaktunsicherheiten behaftet, sind fehl am Platz. Der Bedienende muß sich vollständig auf die Modellbeobachtung konzentrieren und den Steuersender — der den Geber mitenthält — praktisch bedienen können, ohne hinzusehen.

Leider ist in dieser Hinsicht der Amateur meist noch auf Eigenkonstruktionen angewiesen. Für die Kanalfolge- und Simultansteuerungen mit Tonmodulation haben sich so-

genannte Schaltknüppel bewährt, die man aber nicht zu klein auslegen sollte. Die Griffe der Schaltknüppel formt man so, daß sie mit dem Tastsinn deutlich zu unterscheiden sind. Für Proportionalsteuerungen bewähren sich eventuell normal große Potentiometerdrehknöpfe besser als Knopfpotentiometer in Kleinausführung. Für Sonderfälle ist es gelegentlich günstiger, Kommandogeber und Sender getrennt zu montieren. Dann soll der Senderkasten alle Baugruppen außer den Geber-Elementen enthalten und dieser nach Möglichkeit als kleines, griffiges Handgerät ausgeführt werden. Diese Variante ist z. B. bei Lichtstrahlübertragung erforderlich, da der Strahler — zweckmäßig mit dem Sender zu einem Baublock vereinigt — dann fest aufgestellt wird und auf den Empfänger ausgerichtet sein muß. Dafür bewährt sich ein Fotostativ mit Kugelgelenkkopf.

1.4.2. Empfänger

Eine Grundkonzeption für den Aufbau läßt sich hier nicht geben, da sie vom Übertragungsverfahren sowie von der Größe und Beschaffenheit des Modells abhängt. In jedem Fall sei der Empfänger mit Halbleitern bestückt, als Baublock getrennt von Kommando-Auswerter und Rudermaschinen aufgebaut sowie in Kleinbautechnik ausgeführt. Die letzte Forderung erhöht sich bei Flugmodellen bis zur extremen Miniaturisierung, wobei der Empfänger möglichst leicht sein soll. Grundbedingung ist eine stromsparende Auslegung des Empfängers, da die Bordbatterie das Modell raum- und gewichtsmäßig belastet. Daher muß die Batterie ebenfalls so klein und leicht wie möglich sein. Empfehlungen für eine bestimmte Batterieform lassen sich nicht geben. Sie hängt vom Strom- und Spannungsbedarf der Bordanlage (Rudermaschinen!) sowie von den Platz- und Gewichtsbedingungen ab. In vielen Fällen werden sich aber die vom VEB Grubenlampenwerk Zwikkau gefertigten Knopfzellenakkus — robuste gasdichte

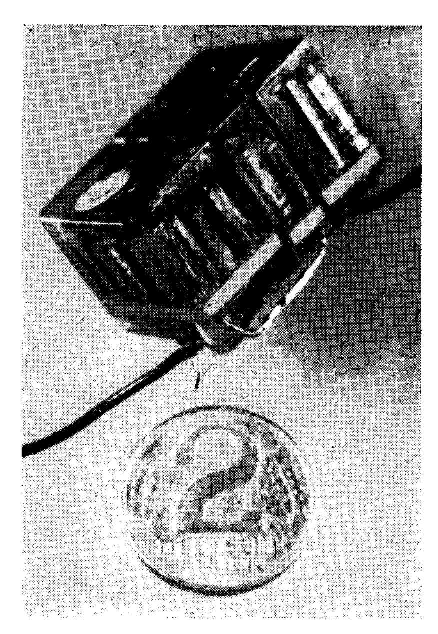
NK-Akkus mit 1,2 V — als günstigste Lösung anbieten, und zwar insbesondere die Größen mit 50 mAh und 225 mAh Kapazität. Zumindest für die Speisung der Bordsteueranlage mit Ausnahme der Rudermaschinen reichen sie in jedem Fall aus (ggf. Serienschaltung). Für die Rudermaschinen kann man dann, wenn diese starke Ströme aufnehmen, auf die 2-V-Trockenakkus RZP 2 (ETS Sörnewitz) als günstig kleine, aber stromergiebige Batterieform zurückgreifen. Es besteht zwar keine unbedingte Notwendigkeit für Akkus, doch sind vergleichbare Trockenelemente meist räumlich größer und schwerer. Im übrigen soll man Steuerschaltungen möglichst immer so auslegen, daß während der überwiegenden Betriebszeit (im Normalfall: Zeiten ohne Kommandodurchgabe) der Stromverbrauch gering ist und stärkerer Stromverbrauch nur bei der Kommandoübermittlung auftritt. Bezüglich des Strombedarfs der Rudermaschinen verhält sich die sonst sehr vorteilhafte Proportionalimpulsschaltung leider ungünstig.
Fernsteuerempfänger sollen stets mechanisch robust und erschütterungsfest ausgelegt sein, was insbesondere für Flugmodelle gilt. Mit den heute dem Amateur zugänglichen Mitteln ist es auch möglich, die Bordanlage, zumindest aber Empfänger und Kommando-Auswerter, so stabil zu bauen, daß selbst ein Flugmodellabsturz zwar nicht vom Modell, aber von seinen elektronischen „Eingeweiden" ohne Beschädigung überstanden wird.

1.4.3. Montagefragen

Auch hier lassen sich nur einige allgemeine Hinweise geben, und zwar zu Dingen, die erfahrungsgemäß oft übersehen werden. Ein Sender, der nach einem Sturz oder einer Erschütterung nachgestimmt oder gar repariert werden muß, ist eine Quelle ewigen Ärgers. Vorhandene Abgleichpunkte, Trimmregler u. ä. sollen so angeordnet sein, daß sie unter Geländebedingungen leicht und ohne Spezialwerkzeug zugänglich sind, andererseits nicht unbe-

merkt verstellt werden können. Gehäusedurchbrüche und Öffnungen an Sender und Kommandogeber betrachte man unter dem Gesichtspunkt, daß das Wetter oft schneller umschlägt, als man das ferngesteuerte Modell zum Startplatz zurückführen kann; „ertrunkene" oder versandete Trimmregler gehören nicht zu den angenehmsten Erscheinungen. Batterien ordne man so an, daß sie sich schnell und leicht auswechseln lassen; sie dürfen aber nicht selbständig herausfallen. Für die Batterieprüfung sollte man, wenn es die Platzverhältnisse gestatten, im Sender eine einfache Kontrollmöglichkeit vorsehen, die so ausgelegt wird, daß über kurze Prüfleitungen auch die Empfängerbatterien vor dem Start geprüft werden können.
Beim Sender und erst recht beim Empfänger sollen alle Abgleichpunkte so angeordnet sein, daß sie und die zugehörigen Meßpunkte (notfalls herausführen) auch nach dem Einbau noch zugänglich sind. Es ist sinnlos, z. B. ein Pendelaudion vor dem endgültigen Einbau in ein Flugmodell abgleichen zu wollen. Darum muß das Flugmodell so aufgebaut werden, daß man auch an dem betriebsbereit eingesetzten Empfänger noch alle notwendigen Einstellungen vornehmen kann. Steckverbindungen zwischen Baugruppen sind zwar sehr bequem, aber wenn sie nicht wirklich betriebssichere und zuverlässige Verbindungen darstellen (auch bei Erschütterungen), dann können daraus unangenehme Folgen entstehen. Deshalb ist es besser, Klemmverbindungen zu verwenden.
Es gibt Fernsteueramateure mit bewundernswerten mechanischen Fertigkeiten, die mit der Präzision eines Uhrmachers komplizierte mechanische Gestänge, Schaltsterne und Rudermechaniken fertigen — aber das sind wenige. Im allgemeinen gilt der Grundsatz: wenig Mechanik, lieber etwas mehr Elektronik. Man sollte nach dem jetzigen Stand der Technik stets davon ausgehen, den mechanischen Teil (Rudermaschinen) so einfach wie möglich zu halten (sinngemäß gilt das auch für die Anzahl von Relais und ihre Kontakte) und die Steuerungsaufgaben so weit als möglich rein elektrisch zu erfüllen. Eine komplizierte

Schaltung ist, einmal sachgemäß aufgebaut, betriebssicherer als eine noch so präzise Mechanik. Der Aufbau der elektronischen Baugruppen — mit Ausnahme der eventuell erforderlichen Relais — erfolgt in Miniatur-Baugruppentechnik. Hierzu sei auf die in dieser Reihe erschienenen Hefte von *K. Schlenzig,* Nr. 26 und 31, *Die Technik der gedruckten Schaltung,* und insbesondere Nr. 41, *Bausteintechnik für den Amateur,* verwiesen sowie auf das Buch *Amateurtechnologie* vom gleichen Autor. Allerdings ist damit nicht gesagt, daß der Amateur die — zwar sehr vorteilhafte — gedruckte Schaltung unbedingt anwenden muß. Insbesondere in Flugmodellen muß die Elektronik doch mitunter derbe Stöße aushalten. Gegenwärtig besteht auch für den Amateur die — in der Industrie und Satellitentechnik schon seit längerem angewendete — Möglichkeit, die fertige, gründlich erprobte und völlig betriebssichere Baugruppe vollständig in Gießharz einzugießen. Ein solcher Gießharzblock ist dann nur noch mit dem Vorschlaghammer zu zerstören; das gilt allerdings auch für den Reparaturfall. Hinweise zu dieser gerade für den Modellsteueramateur interessanten Gießharztechnik sind im *Elektronikbastelbuch* sowie ausführlich in der in dieser Reihe erschienenen Broschüre *Gießharztechnik für den Amateur* (Band 59) zu finden.
Ein näheres Eingehen auf diese junge und aussichtsreiche Gießharztechnik (für den Modellbauer auch außerhalb der Elektronik als Werkstoff interessant) ist in dieser Broschüre leider nicht möglich. Das Foto auf Seite 44 deutet die Möglichkeiten bereits an. Der kompakt vergossene und vollständig bruchsichere Funktionsblock stellt einen kompletten Funkfernsteuerempfänger dar, bestehend aus einem Transistor-Pendelaudion mit NF-Nachverstärkung und 400-Hz-Tonkreisschaltstufe (Kommando-Auswerter für 400-Hz-Einkanal-Ein/Aus-Steuerung). Lediglich Batterie und Schaltrelais sind außen anzuschließen. An diesem Empfänger läßt sich nachträglich nichts mehr ändern oder reparieren, was bei der Zuverlässigkeit moderner Bauelemente jedoch kein Nachteil ist.



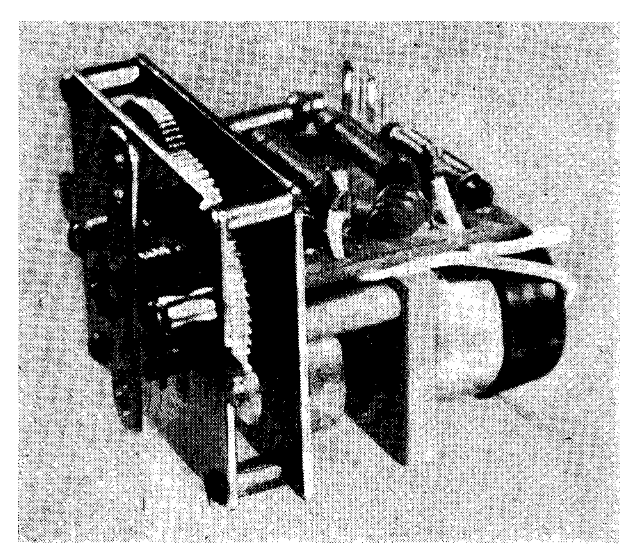
In Polyester-Gießharz komplett eingegossener, bruchfester Funkfernsteuerempfänger für 27,12 MHz. Münze zum Größenvergleich

1.4.4. Antriebs- und Rudermechanik

Gerade auf diesem Gebiet geht fast jeder Modellbauer eigene Wege. Das verwundert nicht, da jedes Modell eine spezifische Gestaltung der Antriebs- und Lenkungsteile erfordert. Für den Antrieb haben sich die bekannten kleinen Spielzeug-Permanentmotore für 3 V bis 6 V und 0,1 A bis 1 A Stromaufnahme (z. B. die Erzeugnisse der Fa. Petrich) durchgesetzt, wobei Typ und Modell nicht von entscheidender Bedeutung sind. Wichtiger ist die geringe Stromaufnahme (besonders bei blockiertem Motor, was z. B. im Störungsfall vorkommt) und der zuverlässige Lauf; letzterer wird entscheidend von der Qualität des Kollektors mit-

bestimmt. Antriebsmotore auf nichtelektronischer Basis (Flugmodelle) stehen außerhalb der Thematik dieses Heftes. Sie sind für die Fernsteuerung nur darum interessant, weil durch kleine Elektromagnete o. ä. Steuerungsventile (z. B. Brennstoffzufuhr) bestätigt werden müssen. Dafür genügt gewöhnlich ein Ein/Aus-Kommando. Für derartige Steuerungsaufgaben, aber auch für die Betätigung von Lenkungen, Seiten- und Höhenrudern o. ä., steht seit einiger Zeit eine bei geringem Ausmaß und Stromverbrauch (3 V bis 6 V, ≈ 0,2 A) recht kräftige Rudermaschine *Servomatic* zur Verfügung (Hersteller: PGH „Universal", Reinhardtsgrimma über Dippoldiswalde/Sachs.). Sie wird in den vier Varianten *Servomatic 11, 12, 21, 22* gefertigt und enthält je nach Variante 1 oder 2 funkentstörte Kleinst-Elektromotoren mit Fliehkraftkupplung und Zahnraduntersetzung (1 : 210). Je nach Variante ist sie für Ein/Aus- oder Proportionalsteuerung geeignet. Ein Ruderhebel mit verstellbaren Endanschlägen kann einen Drehwinkel von reichlich 90° bestreichen und die Modell-Lenkorgane unmittelbar betätigen. Je nach Variante kehrt der Ruderhebel nach Motorabschaltungen entweder selbsttätig in die Mittellage zurück — der Schwenkbereich beträgt dann etwa ± 45° —, oder er bleibt in der eingestellten Lage stabil stehen. Zur näheren Information über diese Rudermaschine (das Foto zeigt die Variante *Servomatic 11*), die dem Modellbauer in sehr vielen Fällen die mechanische Arbeit weitgehend abnimmt, sei auf das vom Hersteller zu beziehende Datenblatt verwiesen.

Bei Funkfernsteuerempfängern bereiten die HF-Motorstörungen oft große Sorge. In einem solchen Fall — aber auch bei empfindlichen NF-Empfängern, wie sie für andere Übertragungsverfahren in Frage kommen — müssen die Antriebsmotore entstört werden. Dazu gibt Bild 14a die erforderliche Schaltungsdimensionierung an. Je nach Motor und Empfänger werden gewöhnlich bereits die Kondensatoren C 1 · · · C 3 (keramische Kleinsttypen) ausreichen. In hartnäckigen Fällen werden zusätzlich die Drosseln Dr 1 und Dr 2 sowie C 4 erforderlich. Alle Bauteile muß man



Rudermaschine *Servomatic 11* der PGH „Universal", Reinhardtsgrimma

unmittelbar am Motor anlöten und sie dann direkt am Motorgehäuse mit diesem auf Massepotential des Empfängers legen. Eventuell ist es zweckmäßiger, C 1 und C 2 nur am Motorgehäuse, dieses aber nicht an Empfänger-Masse anzuschließen. Die Drosseln sind die bekannten kleinen Ferritkern-Motorentstördrosseln, wie sie speziell zur Entstörung von Spielzeugmotoren (u. a. auch für Modelleisenbahnen) geliefert werden. Bei U_m führt man die Motor-Betriebsspannung zu; diese Anschlüsse treten an die Stelle der Rudermaschine RM in den vorangegangenen Schaltungen (z. B. Bild 9). Bei der dort gezeigten Proportionalsteuerung ist noch zu beachten, daß der Motor mit voller Betriebsspannung ständig umgepolt wird. Dadurch kommt es am Kontakt p des Flatterrelais P unter Umständen zu starker Funkenbildung, die sich auch durch die Entstörung nach Bild 14a nicht beseitigen läßt. Der Kontakt wird sehr

bald beschädigt. In diesem Fall schließt man bei A—B (Bild 14a) zusätzlich noch die Funkenlöschkombination nach Bild 14b an. Die Anti-Serienschaltung zweier Elektrolytkondensatoren ist erforderlich, weil die Polarität an A—B ständig wechselt. C 5 und C 6 sind gleich groß und für die doppelte Betriebsspannung zu bemessen.
Bedeutend eleganter, technisch zweckmäßiger und wirkungsvoller läßt sich die Funkenlöschung mit 2 Z-Dioden an Stelle der Elkos vornehmen. Diese Lösung ist finanziell etwas aufwendiger, man sollte sie aber trotzdem bevorzugen. Gemäß Bild 14c werden die Z-Dioden ZD 1 und ZD 2 — beide gegensinnig in Serie geschaltet — bei A—B (Bild 14a) angeschlossen. Die Z-Spannung soll etwa das 1,5- bis 3fache der Betriebsspannung U_m betragen. Dadurch werden die Kontakte geschont, so daß man dafür auch empfindliche polarisierte Relais einsetzen kann. Die *schwache Stelle* der Proportionalimpulssteuerung, das Flat-

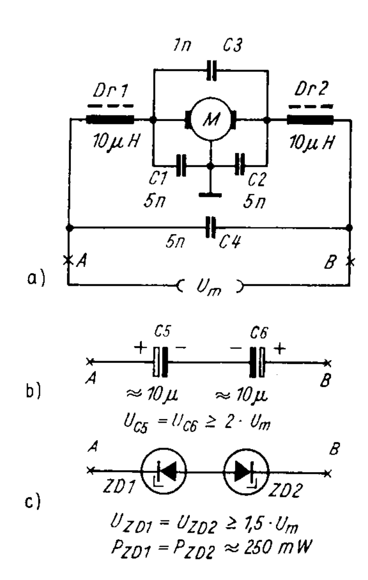


Bild 14
Funkentstörung für Antriebsmotore (a). Zur Kontaktfunkenlöschung (insbesondere an Flatterrelais bei Proportionalimpulssteuerung) muß zusätzlich die Elko-Kombination (b) oder besser die Z-Dioden-Kombination (c) benutzt werden

terrelais, kann durch eine kontaktlose, verschleiß- und trägheitsfreie Transistor-Schaltstufe ersetzt werden. Diese neuere Variante ist im Teil II unter Abschnitt 2.5. erläutert. Die Proportionalsteuerung ist durchaus nicht nur für den Antrieb von Elektromotoren als Rudermaschinen geeignet. Bild 15 zeigt das am Beispiel einer Schiffsruder-Steuerung. In die beiden Magnetspulen Sp 1 und Sp 2 tauchen Eisenkerne halb ein. Das Ruder wird durch die Rückstellfeder in Mittellage gehalten. Der periodisch umschaltende Flatterrelais-Kontakt p (z. B. das Flatterrelais entsprechend Bild 9) legt einmal Sp 1, danach Sp 2 an die Ruderbatterie B. Das Ruder wird daher durch die Kerne von Sp 1 und Sp 2 abwechselnd nach links und rechts gezogen. Es kann aber dem schnellen Wechsel nicht folgen und bleibt, wenn beide Spulen gleich lange eingeschaltet werden (Tastverhältnis t 1/t 2 = 1 : 1), in Mittellage. Überwiegt eine der Tastzeiten, so führt die entsprechende Spule länger Strom, und ihre Kraftwirkung ist größer. Deshalb kann durch Änderung des Tastverhältnisses das Ruder kontinuierlich nach beiden Seiten ausgelenkt werden. Um die Seitenlage des Ruders bei Impulsausfall zu vermeiden (Sp 1 wäre dann

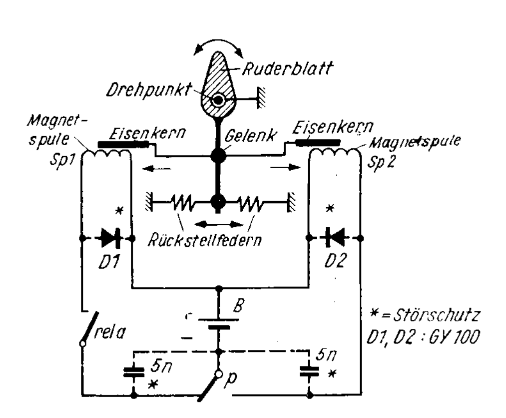


Bild 15 Konstruktionsbeispiel für eine motorlose Schiffsruder-Proportionalsteuerung. Relaiskontakte a und p vgl. Bild 9

ständig eingeschaltet), ist wieder die Vorkehrung mit Relais A (Bild 9) und Kontakt a (jetzt Bild 15) getroffen. Bei Ausbleiben der Impulsfolge öffnet a, womit beide Magnetspulen stromlos sind und das Ruder durch die Rückstellfedern in Mittellage geholt wird.

Die Entstörung gestaltet sich hier einfacher. Für die Funkenlöschung genügen 2 übliche Germaniumflächendioden D 1 und D 2 (Polung beachten!), da an der einzelnen Spule jetzt nur noch eine Polarität auftritt. Bei Funkfernsteuerung kann der Flatterkontakt p zusätzlich noch durch 2 direkt am Relaiskontakt anzulötende 5-nF-Kondensatoren (mit * gekennzeichnet) HF-entstört werden.

2. Schaltungstechnik

Zu den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Verfahren und Baugruppen werden im folgenden einzelne Schaltungslösungen angegeben, die unmittelbar zum Nachbau geeignet sind. Die einzeln vorgestellten Schaltungsgruppen lassen sich sinngemäß untereinander kombinieren und zusammenschalten. Nachdem sich der Leser mit Hilfe der vorangegangenen Abschnitte die Grundkonzeption der seinem Zweck angemessenen Steuerungsschaltung selbst zusammengestellt hat, kann er aus den folgenden Abschnitten die detaillierten Schaltungen für die einzelnen Funktionsblocks entnehmen und gelangt damit zu der kompletten Schaltung. Notwendige Hinweise für die Zusammenschaltung werden an den entsprechenden Stellen gegeben. Selbstverständlich kann im engen Rahmen dieses Heftes nicht jede mögliche Schaltungslösung gezeigt werden. Zweck dieser Zusammenstellung ist es vor allem, bekannte Schaltungslösungen anzudeuten, sie aber in ihrem Zusammenhang mit den vorangehend beschriebenen Grundfunktionen darzustellen sowie auf weniger bekannte Schaltungslösungen und auf neuartige Wege hinzuweisen. Dem Leser wird damit die Möglichkeit gegeben, sich die endgültige Gesamtschaltung für seinen Zweck selbst zu erarbeiten und dabei die grundsätzlichen Zusammenhänge der einzelnen Verfahren und Schaltungsfunktionen zu erkennen. Nur auf diese Weise ist es dem Amateur möglich, vom bloßen Nachbau nach Vorschrift zum tieferen Verständnis zu kommen, um schließlich eigene Wege zu suchen.

2.1. Kommandogeber

2.1.1. Zweifach-Proportionalsteuergeber für leitungsgebundene Motorregelung

Als Beispiel für einen sehr einfachen Lösungsweg zeigt Bild 16 eine Steuerschaltung für die getrennte Drehzahlregelung von 2 Motoren über eine 2adrige Leitung. Die Schaltung geht auf eine Veröffentlichung von *Claus Garbaden* zurück.

Sie kann z. B. für einfache Spielzeugsteuerungen (2motoriges Raupenfahrwerk mit Nachschleppkabel) oder für 2-Zugbetrieb in einfachen Modellbahnanlagen benutzt werden. RM 1 und RM 2 sind übliche kleine Gleichstrom-Batteriemotore für maximal 1 A Stromaufnahme. Für solche Motore gelten die angegebenen Dimensionierungen. Als Netztrafo KT benutzt man einen Klingeltransformator. Bei abgeänderter Dimensionierung und anderen Gleichrichtertypen ist die Schaltung grundsätzlich auch für andere Motore, z. B. in der Starkstromtechnik, verwendbar. Jeder Motor wird von einer Halbwelle der verfügbaren Wechselspannung gespeist, RM 1 über R 1, D 1, D 2 von der negativen, RM 2 über R 2, D 3, D 4 von der positiven Halbwelle. Beide Motore erhalten also pulsierenden Gleichstrom. Über R 1 kann die Spannung für RM 1 – und damit dessen Drehzahl – über R 2 entsprechend RM 2 geregelt werden. Da beide Motore mit verschiedenen Halbwellen arbeiten, sind beide Regelungen unabhängig voneinander

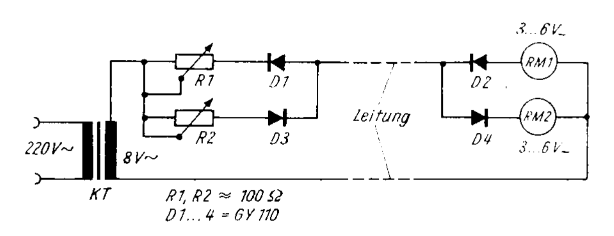


Bild 16 Steuerung zweier Motore über gemeinsame 2adrige Leitung

zwischen Stillstand und Höchstgeschwindigkeit möglich. (Für Drehzahl 0 muß der Regelwiderstand einen Ausschaltkontakt haben.) Da die Motore nur auf je einer Halbwelle arbeiten, ist zum Ausgleich der damit verbundenen Drehzahlverluste die Trafospannung etwas höher als die nominelle Motorbetriebsspannung.

2.1.2. NF-Generatoren für tonmodulierte Fernsteuerung nach 1.2.2.

Für die Tonmodulation von Fernsteuersendern eignet sich als Kommandogeber grundsätzlich jede Tongeneratorschaltung. In der Amateurliteratur wurden viele Beispiele beschrieben, die teils als RC-Generatoren, teils mit Induktivitäten (LC-Generatoren) aufgebaut sind. Je nach dem anzuwendenden Fernsteuerverfahren erweist sich die eine oder andere Variante als besonders zweckmäßig. Bei Mehrkanalverfahren wird gute Frequenzkonstanz verlangt, außerdem soll die NF-Schwingung dabei nicht zu oberwellenhaltig sein. In diesem Fall ist eine Generatorschaltung günstiger, die Sinusschwingungen abgibt. Bei Simultanbetrieb sind diese Eigenschaften insbesondere auch im Hinblick auf Wahl und Einhaltung der NF-Kanalfrequenzen wichtig; in diesem Zusammenhang sei nochmals an das in Abschnitt 1.3.2.2. Gesagte erinnert.
Für Kanalfolge- oder Proportionalkommandos, bei denen empfängerseitig nicht mit resonanzscharfen NF-Filtern gearbeitet wird, sind RC-Schaltungen gelegentlich wegen ihres etwas geringeren Aufwands günstiger. Sie bieten außerdem die Möglichkeit, die NF als Rechteckschwingung abzunehmen. Die Rechteckmodulation, insbesondere von Funkfernsteuersendern, erfreut sich in letzter Zeit auf Grund geringen Aufwands und guten Wirkungsgrads großer Beliebtheit. Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß sie gerade beim Modellfunk auch einige Nachteile hat. Abgesehen von empfängerseitigen Komplikationen, die die Rechteckmodulation bei Parallelschaltung mehrerer Ton-

kreisstufen (Simultanverfahren) gelegentlich ergeben kann, vergrößert sich bei der HF-Übertragung infolge des hohen Oberwellengehalts der Rechteckschwingung auch merklich die Bandbreite. Das läuft der in Abschnitt 1.3.5.3. erwähnten Forderung an moderne Anlagen zuwider (trennscharfe Empfänger, schmalbandige HF-Übertragung mit Rücksicht auf gleichzeitigen Betrieb mehrerer Funkfernsteueranlagen im 27,12-MHz-Band). Man wird von Fall zu Fall entscheiden müssen, welche Variante für den NF-Generator zu bevorzugen ist. Die folgenden Schaltungsvorschläge sollen daher nur das Prinzip angeben, können aber verständlicherweise nicht alle denkbaren Varianten berücksichtigen.

2.1.2.1. Einfacher Festfrequenzmultivibrator

Wohl eine der bekanntesten und hinsichtlich der Dimensionierung vielseitigsten Schaltungen ist der Multivibrator (Bild 17). Er gibt die Tonfrequenz als Rechteckschwingung ab. In bezug auf die Transistortypen ist die Schaltung völlig unkritisch; im allgemeinen lassen sich auch minder-

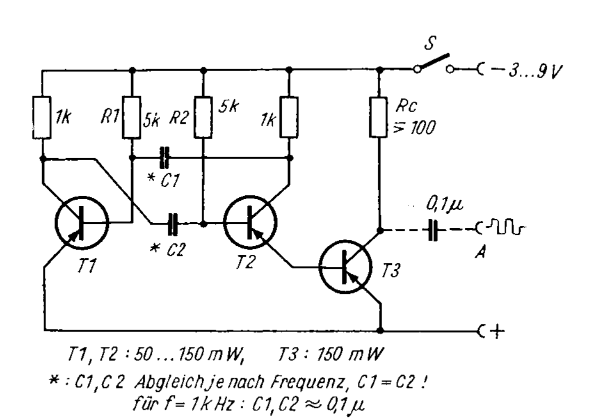


Bild 17 Einfacher Festfrequenzmultivibrator zur Erzeugung tonfrequenter Rechteckschwingungen

wertige Exemplare (geringe Stromverstärkung, erhöhtes Rauschen u. ä.) verwenden. T 1 und T 2 sollten annähernd datengleich sein, falls auf symmetrische Rechteckform besonderer Wert gelegt wird (hauptsächlich für Funksendermodulation und Simultanverfahren von Bedeutung). C 1 und C 2 wählt man je nach der verlangten Frequenz, die Werte können in weiten Grenzen variiert werden (Multivibratoren lassen sich praktisch auf dem gesamten NF-Frequenzband einsetzen). Dabei soll, wenn T 1 und T 2 einigermaßen datengleich sind, auch C 1 = C 2 sein. Durch Verändern der beiden 5-kΩ-Basiswiderstände kann der Feinabgleich der Frequenz erfolgen (bei Simultananlagen), wobei man die Bedingung R 1 = R 2 $\pm$ 20 % einhalten sollte.

T 3 gehört prinzipiell nicht zum Multivibrator. Er dient zur Entkopplung des NF-Generators vom nachfolgenden Sender. Die Schwingung kann entweder bei A gleichspannungsfrei abgenommen werden, oder man schaltet an Stelle von Rc (nur symbolisch angedeutet) das jeweils zu modulierende Organ (Sender-Taststufe o. ä., je nach Senderschaltung) direkt ein. Schalter S ist der Kommandoschalter (analog z. B. S. 1 in Bild 5). Die Betriebsspannung läßt sich in weiten Grenzen wählen (entsprechend der für den Sender vorhandenen Batterie), soll aber mit Rücksicht auf die Frequenzkonstanz nicht schwanken.

2.1.2.2. Frequenzumschaltbarer Multivibrator

Für Kanalfolgekommandos — ähnlich Bild 4 — sind mehrere Tonfrequenzen erforderlich; die Generatorfrequenz muß also umschaltbar sein. Beim Multivibrator geschieht das, um mit einfachen Schaltern auszukommen, zweckmäßig durch Änderung der Basisspannung in verschiedenen Stufen. Eine solche Schaltung zeigt Bild 18.

Die Wirkungsweise entspricht der Schaltung nach Bild 17. R 1 und R 2 bekommen ihre Basisvorspannung jedoch jetzt vom Spannungsteiler R 3 · · · R 6. Je nachdem, welcher der

Schalter S 1 · · · S 4 geschlossen wird, ergibt sich eine andere Tonfrequenz (S 1 = höchste Frequenz, S 4 = tiefste Frequenz). R 1, R 2, C 1 und C 2 werden bei der tiefsten Frequenz (S 4) abgeglichen. Die höheren Frequenzen wählt man dann nach Wunsch durch entsprechende Dimensionierung von R 3 · · · R 5. Mit entsprechend mehr Widerständen und Schaltern erhält man weitere Frequenzen. Die Summe aller Spannungsteilerwiderstände soll bei etwa 5 bis 6 kΩ liegen.

Die Schaltung zeigt gleichzeitig noch eine Ergänzung, um ausreichende Frequenzkonstanz auch bei schwankender Betriebsspannung zu gewährleisten. Die Betriebsspannung des Multivibrators wird zu diesem Zweck mit der Z-Diode ZD und ihren Vorwiderstand 500 Ω stabilisiert. Die Speisespannung muß jetzt aber 9 V betragen. Diese Maßnahme ist grundsätzlich auch bei der Schaltung nach Bild 17 anwendbar, falls dort gute Frequenzkonstanz verlangt wird.

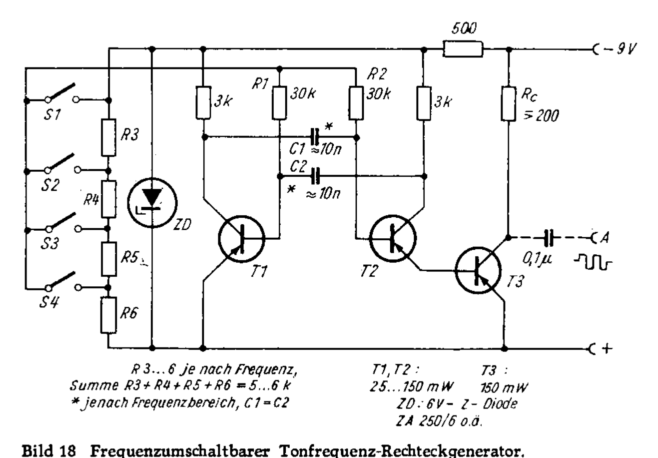
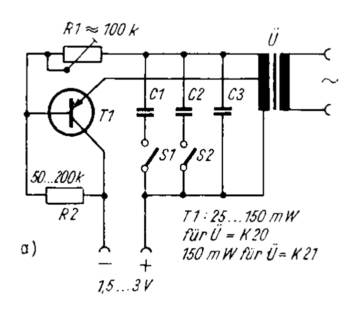


Bild 18 Frequenzumschaltbarer Tonfrequenz-Rechteckgenerator. Frequenzumschaltung erfolgt zwecks einfacherer Schalterkonstruktion (S1 · · · S4 z. B. Drucktasten) durch Änderung der Basisvorspannung. Frequenzstabilisierung mit Z-Diode. Da die Transistoren als Schalter arbeiten, ist eine Temperaturkompensation nicht erforderlich

2.1.2.3. Frequenzumschaltbarer Sinusgenerator

Einen recht einfachen Sinustongenerator, der bei richtiger Einstellung eine ausreichend saubere und frequenzkonstante NF-Schwingung liefert, zeigt Bild 19a. Man kommt mit einem Transistor aus, dessen Typ und Daten ebenfalls unkritisch sind. Als Übertrager Ü eignen sich die bekannten *Sternchen*-Kleinstübertrager Typ *K 20* oder *K 21* o. ä. Typen (für *K 20* auch *T/04, K 30* o. ä., für *K 21* auch *K 31, A/03* o. ä.). Der Unterschied zwischen einem Treibertrafo *(K 20)* und einem Ausgangstrafo *(K 21)* besteht in der Ausgangsspannung sowie in der Ausgangsimpedanz.
Der *K 20* gibt eine relativ hohe NF-Spannung (größenord-



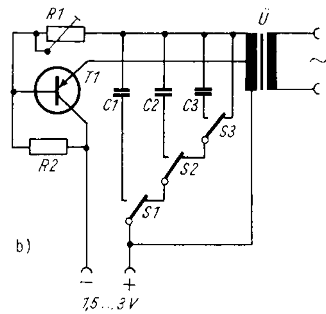


Bild 19 a – Sinustongenerator für eine umschaltbare Festfrequenz
b – Um den Tongenerator in den Kommandopausen stillzusetzen, sind für S 1 ··· S 3 Umschalter erforderlich

nungsmäßig etwa gleich der Speisespannung) an einen Lastwiderstand von 3 kΩ bis 10 kΩ ab, der *K 21* im Höchstfall 0,2 V bis 0,5 V an 5 Ω bis 15 Ω. Man wählt den Übertragertyp daher je nach Eingangsschaltung und Anforderungen des nachfolgenden Senders. R 2 richtet sich im Wert nach β des Transistors und ist nicht allzu kritisch. R 1 — ein kleiner Trimmregler — wird nach Fertigstellung so eingestellt, daß der Generator auf allen Frequenzen gerade sicher anschwingt; sein Wert soll nicht geringer sein als erforderlich. Nimmt man diese Einstellung sorgsam vor, so gibt der Generator eine saubere Sinusschwingung ab. R 1 kann danach durch einen Festwiderstand gleicher Größe ersetzt werden, falls man besonderen Wert auf ein kleines Gerät legt. C 3 bestimmt die höchste Frequenz und wird je nach gewünschter Frequenz und Übertragertyp bemessen. Mit S 1 und S 2 kann man C 1 und C 2 zuschalten, wobei sich die Gesamtkapazität vergrößert, während die Frequenz sinkt. Werden C 1 und C 2 entsprechend bemessen, so hat man mit dieser Kombination 4 Frequenzen verfügbar (höchste Frequenz: S 1, S 2 offen, tiefste Frequenz: S 1 und S 2 geschlossen). Nachteilig ist, daß der Generator ständig schwingt — eine Frequenz wird also immer abgegeben. C 3 kann nicht gleichfalls geschaltet werden, weil der Generator dann ein sperrschwingerähnliches Verhalten zeigt und nadelähnliche Impulse unkonstanter Frequenz abgibt. Man muß daher entweder einen weiteren Schalter in die Batteriezuleitung legen oder die Schaltungsvariante nach Bild 19b wählen. Jetzt sind allerdings für S 1 · · · S 3 Umschalter erforderlich. Geeignete Staffelung von C 1 · · · C 3 ermöglicht nun 3 Tonfrequenzen. Die Dimensionierung entspricht dem zu Bild 19a Gesagten. Der Vorteil beider Schaltungen besteht darin, daß der Ausgang galvanisch entkoppelt ist und daher kaum Beschränkungen beim Anschalten an nachfolgende Sender entstehen. Wenn das Gerät mit dem Übertragertyp *K 21, K 31* oder *A/03* und einem 150-mW-Transistor ausgerüstet wird, reicht die Leistung des Generators bereits für einen Kleinlautsprecher aus (womit, z. B. nach Bild 10, Geber und TX identisch sind!).

2.1.3. Proportionalimpulsgeber

Kommandogeber für das Proportionalimpulsverfahren sind Rechteckgeneratoren mit regelbarem Tastverhältnis, aber im allgemeinen konstanter Frequenz. Je nach den Eigenschaften der empfängerseitigen Kommandoauswertung und der Rudermaschine liegt ihre Frequenz mit etwa 4 Hz bis 25 Hz relativ niedrig. Im folgenden werden Geber beschrieben, deren Tastverhältnis sich mit Potentiometer — d. h. von Hand — einstellen läßt. Die Befehlseingabe kann aber auch rein elektrisch erfolgen, d. h., ein elektrisches Signal (Spannungsschwankung o. ä.) wird dem Geber zugeführt, wodurch sich das Tastverhältnis ändert. Diese Möglichkeit ist weniger für den Fernsteueramateur, dagegen sehr oft für die Fernwirk- und Fernmeßtechnik von Bedeutung. Schaltungen mit elektrischer Befehlseingabe bzw. für elektrische Steuergrößen sind u. a. im *Elektronikbastelbuch* zu finden.

2.1.3.1. Einfacher 20-Hz-Proportionalimpulsgeber

Bild 20 zeigt die Schaltung eines einfachen Proportionalgebers. Im Prinzip handelt es sich um einen Multivibrator ähnlich Bild 17. Der Multivibrator nach Bild 20 erzeugt auf Grund der größer bemessenen Kondensatoren C 1 und C 2 etwa 20 Hz. Mit entsprechend geänderten C-Werten lassen sich andere Frequenzen — je nach Anforderung der zu steuernden Rudermaschinen — wählen, wobei C 1 = C 2 sein muß. Mit P 1 kann der Gesamtwert des Basiswiderstands für einen der Transistoren verringert, der des anderen um den gleichen Betrag vergrößert werden. Dadurch verkürzt sich die eine Impulshalbwelle, während sich die andere im gleichen Maß verlängert und ihre Summe t 1 + t 2 (vgl. Bild 6) konstant bleibt. In Mittelstellung von P 1 ist t 1 = t 2. R 1 und R 2 dienen als Endanschlagsbegrenzung für P 1, damit in den Endstellungen ein Abreißen der Schwingung vermieden wird. Für T 1 und T 2

sollen Exemplare mit einigermaßen gleicher Stromverstärkung (deren Absolutwert unkritisch ist, β = 15 genügt bereits vollständig) eingesetzt werden. Um Einzelteiltoleranzen auszugleichen, ist R 2 als Trimmregler ausgebildet. Er wird einmalig so eingestellt, daß sich in Mittelstellung von P 1 tatsächlich das Impulsverhältnis von 1 : 1 (Stillstand bzw. Mittelstellung der Rudermaschine) ergibt. P 1 entspricht vergleichsweise R (Bild 9). S 1 (Bild 20) entspricht S (Bild 9). Vom Entkopplungstransistor T 3, der als Schalttransistor arbeitet, kann die Rechteckschwingung entweder gleichstromfrei bei A entnommen werden (wobei der Auskoppelelko wegen der tiefen Frequenz mindestens 50 μF

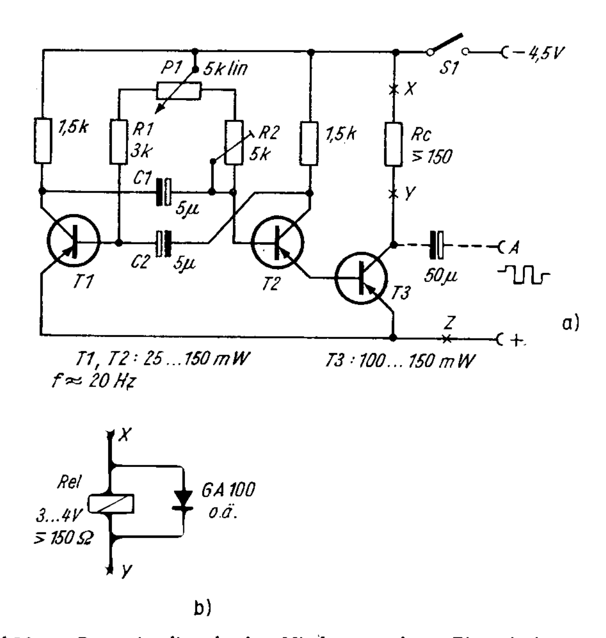


Bild 20 a – Proportionalimpulsgeber. Mit der angegebenen Dimensionierung beträgt die Impulsfrequenz etwa 20 Hz. P 1 regelt das Tastverhältnis und ist das Bedienungsorgan des Gebers

b – An Stelle des Kollektorwiderstands Rc (a) kann unmittelbar das Flatterrelais Rel eingeschaltet werden

haben muß), oder das zu schaltende Organ — z. B. unmittelbar das Flatterrelais Rel (Bild 7) — wird an Stelle von Rc bei X—Y eingeschaltet. Im einfachsten Fall einer Leitungsübertragung, wobei besondere Sender und Empfänger nicht notwendig sind, wäre bei X—Y die Leitung anzuschließen. Bild 20b zeigt das Flatterrelais. Es wird periodisch — hier 20mal je Sekunde — geschaltet. Um durch die Abschalt-Induktionsspannungsspitzen der Relaiswicklung nicht T 3 zu gefährden, muß dem Flatterrelais unbedingt eine Schutzdiode parallelgelegt werden (Polung beachten!), wie in Bild 20b dargestellt.

2.1.3.2. Proportionalimpulsgeber für Tonträgerverfahren 20 Hz/700 Hz

Wie in Abschnitt 1.2.3. schon erläutert, bereitet die Übertragung der niederfrequenten 20-Hz-Proportionalimpulse über Sender und Empfänger einige Schwierigkeiten. Deshalb überträgt man die 20-Hz-Frequenz nicht unmittelbar, sondern tastet mit ihr einen Tongenerator, der auf einer besser übertragbaren Niederfrequenz schwingt. Gut geeignet sind dafür etwa 700 Hz. Falls gleichzeitig mit Kombinationsverfahren und empfängerseitigen Tonfrequenzfiltern gearbeitet werden soll (Abschnitt 1.2.4.), kann man diese Frequenz (auch Tonträgerfrequenz genannt) zur günstigeren Filterbemessung mit einigen Kilohertz wählen. Der Proportionalgeber ist demzufolge mit einem Tongenerator dieser Frequenz zu ergänzen, wobei der Tongenerator im 20-Hz-Rhythmus des Proportionalkommandos ein- und ausgeschaltet wird. Bild 21 zeigt eine dafür geeignete Tongeneratorschaltung. Der eigentliche Proportionalgeber entspricht genau der Schaltung nach Bild 20a, jedoch wird an Stelle von Rc jetzt bei X und Y der Tongenerator nach Bild 21 eingeschaltet. Bei A 1 und A 2 läßt sich jetzt die NF-Impulsfolge abnehmen, deren Übertragung keinerlei Schwierigkeiten bereitet. Die Oszillogrammfotos zeigen die NF-Impulsfolge.

Der Generator nach Bild 21 ist weitgehend unkritisch, für T 4 eignet sich jeder Transistortyp der Leistungsklasse 50 mW bis 150 mW. R 3 darf nicht kleiner bemessen sein, als zum sicheren Anschwingen des Generators erforderlich ist. C 3 bestimmt die Frequenz; der Wert für C 4 wird danach so festgelegt, daß sich für die mit C 3 gewählte Frequenz eine annähernd sinusähnliche Kurvenform am Ausgang ergibt, und ist nicht allzu kritisch. Die Dimensionierung des Versuchsmusters — passend für 700 Hz, ein gerade vorhandenes Transistorexemplar *LC 50* mit $\beta = 10$ und der dafür gut geeignete *Sternchen*-Treibertrafo *K 20* —

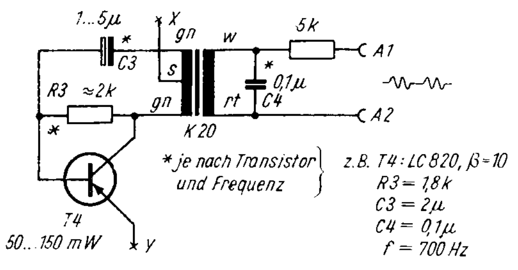
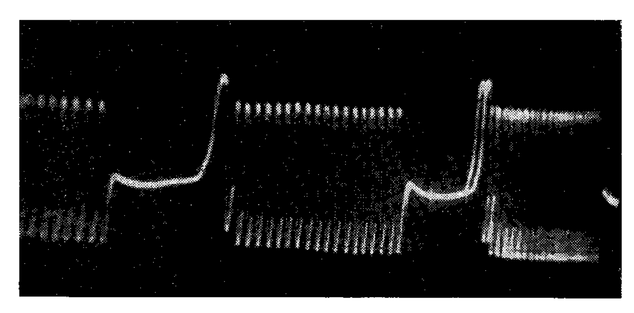
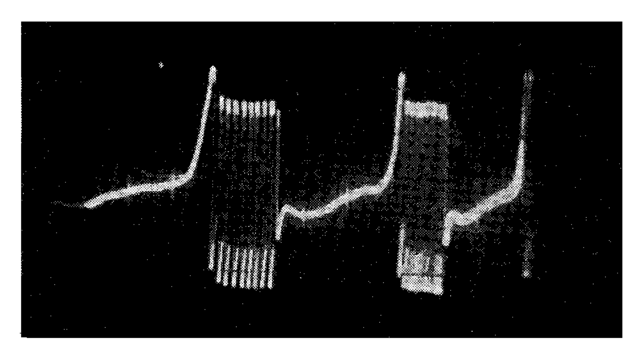


Bild 21 Trägertongenerator für den Proportionalgeber nach Bild 21. Die Schaltung wird mit Punkt X und Y an Stelle von Rc (Bild 20) eingesetzt

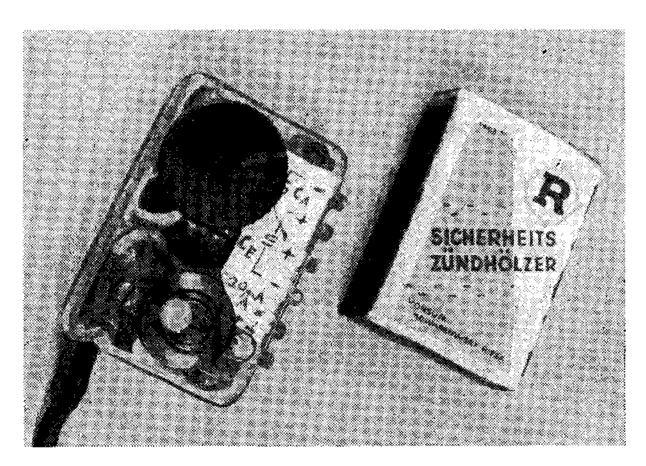


Oszillogramm des Ausgangsimpulses des 20-Hz/700-Hz-Proportionalimpulsgebers. Die Tonimpulsdauer ist hier deutlich länger als die Pausendauer

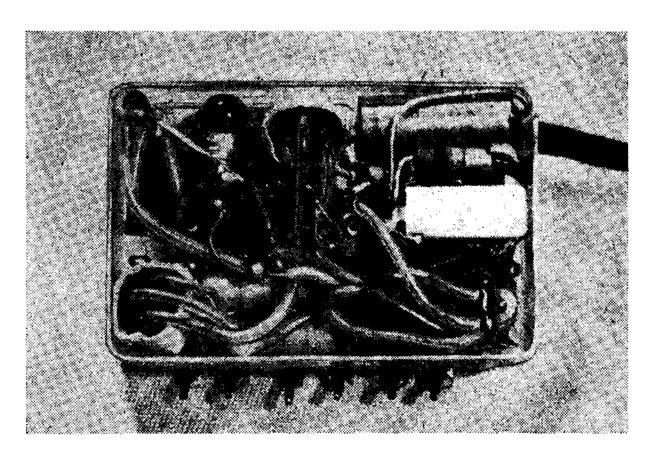


Das gleiche Oszillogramm bei anderer Einstellung des Tastverhältnisses. Die Tonschwingung ist jetzt kürzer als die Pausendauer

ist im Bild als Anhaltswert angeführt. Über A 1 und A 2 wird der Sender moduliert. Die Kombination der Schaltungen nach Bild 20a und Bild 21 ergibt den vollständigen Ge-



Ein Kommandogeber nach dem 20-Hz/700-Hz-Proportionalimpulsverfahren. Der Geber enthält ein Knopfpotentiometer zur Tastverhältnisregelung („Steuerrad", oben), den zugehörigen 20-Hz-Multivibrator und den getasteten 700-Hz-Tongenerator. Unter dem Potentiometer der Batterie-Einschalter für zusätzliche Kommandogabe



Blick in die Verdrahtung des mit 4 Transistoren bestückten Proportionalgebers. Rechte Hälfte: 700-Hz-Generator (der Übertrager K 20 ist erkennbar). Linke Hälfte: 20-Hz-Multivibrator. Zur Schalterkontrolle fand noch eine Miniaturglühlampe Platz (links oben). Das Gehäuse ist eine durchsichtige Polystyrol-Tablettenschachtel. Zur universellen Verwendbarkeit wurden einige Anschlußpunkte (20-Hz-Ausgang sowie zwecks Änderung der 20-Hz-Tastfrequenz Anschlüsse für Zusatz-Elkos) zusätzlich herausgeführt (im Foto unten)

ber. Das Versuchsmuster wurde gemäß diesen Schaltungen als Handgerät in Kleinstbauweise aufgebaut. Die Fotos geben einen Größenvergleich. Aus dem Polystyrol-Kästchen (15 mm × 35 mm × 50 mm) sind P 1 und S 1 zu sehen.

2.1.3.3. Kombinierter Zweitonkanal-Proportionalgeber

Wie unter 1.2.4. bereits dargestellt, kann man durch Frequenzänderung der Tonträgerfrequenz des Gebers einen 2. Kommandoweg für Ein/Aus-Kommandos gewinnen (vgl. dazu Bild 8). Dazu muß lediglich die Frequenz des Tongenerators veränderlich gemacht werden. Die Schaltung nach Bild 21 wird zu diesem Zweck gemäß Bild 22 abgeändert. Die Dimensionierung erfolgt wieder wie bei Bild 21, wobei man C 3b entsprechend der gewünschten höheren

Frequenz bemißt. Durch Zuschaltung von C 3a mit Hilfe von S 2 ergibt sich dann die 2., niedrigere Frequenz. Verglichen mit Bild 8 kann man also mit Schalter S 2 zwischen den beiden Frequenzen f 1 und f 2 wechseln, auf die die zugehörigen Filter im Kommandoauswerter der Empfängerseite abgestimmt sein müssen. S. 2 wird in Bild 8 durch R 2 symbolisiert. Werden mehr als 2 Frequenzen gefordert, so kann man an Stelle der Schaltung Bild 22 auch die Schaltung Bild 19a mit dem Geber nach Bild 20a kombinieren (X = –, Y = +). Man darf bei der Schaltung nach Bild 19a nur Treibertrafos (*K 20*) verwenden und muß R 2 sorgfältig bemessen, da die Betriebsspannung für den Generator in diesem Fall gleich der Spannung des Proportionalgebers (Bild 20a – 4,5 V) ist. Die Variante nach Bild 19b eignet sich nicht; denn mit Rücksicht auf die einwandfreie Übertragung des 20-Hz-Proportionalkommandos darf der Generator nun zwar in der Frequenz wechseln, aber niemals ganz aussetzen.

Grundsätzlich kann die Tonträgerfrequenz anstatt in Stufen auch kontinuierlich geregelt werden, wenn empfängerseitig eine dafür geeignete Auswerteschaltung vorhanden ist. Man verwendet dann als Tonträgergenerator besser einen 2. Multivibrator. Ist empfängerseitig eine kontinuierliche Frequenzauswertung vorhanden (NF-Diskriminatorschaltung oder auf Flanke abgestimmtes NF-Filter o. ä.), so

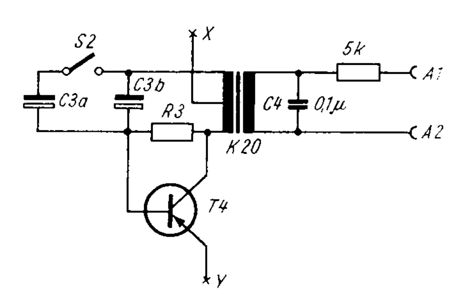


Bild 22 Mit S 2 und C 3a/C 3b kann die Frequenz des Generators nach Bild 21 umgeschaltet werden (Verfahren nach Bild 8)

kann man auf diesem Weg ein 2. Proportionalkommando, in diesem Fall kein Impuls-, sondern ein Frequenzproportionalkommando, übertragen. Hierauf wurde bereits unter 1.2.4. kurz hingewiesen. Ein Schaltungsbeispiel für diese bereits recht aufwendige und für den weniger Geübten nicht ganz leicht zu beherrschende Erweiterung ist im bereits erwähnten *Elektronikbastelbuch* angegeben.

2.2. Fernsteuersender

Nachdem die Kommandogeber besprochen wurden, soll jetzt die Übertragung des vom Geber gelieferten Kommandos behandelt werden. Entsprechend der Betrachtung unter 1.3. folgen zunächst einige Schaltbeispiele für unterschiedliche Sendeverfahren.

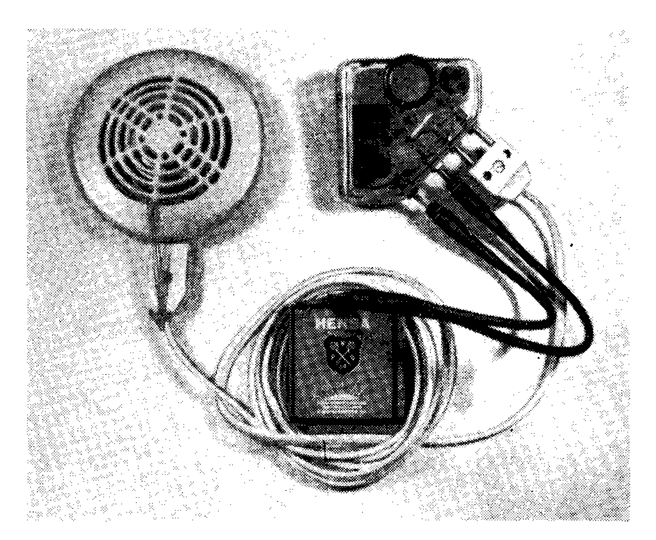
2.2.1. Akustische Sender

Da es sich um eine Schallübertragung handelt, kommen nur tonfrequente Kommandos (Kanalfolge-, Simultan- oder Proportionalkommandos mit Trägerton) in Frage. Der Sender besteht dann aus einem NF-Verstärker genügender Endleistung (je nach Reichweite und Anwendungszweck zwischen 0,1 W — Wohnräume — und höchstens 25 W), der Strahler aus einem Lautsprecher.
Im Freien und für größere Reichweiten benutzt man gegebenenfalls Richtstrahler (Trichterlautsprecher, Druckkammerlautsprecher o. ä.). Die gehörmäßige Übertragungsqualität ist dabei von untergeordneter Bedeutung. Für Senderleistungen bis zu einigen Watt empfehlen sich für den transportablen Einsatz Transistorverstärker. Schaltungsbeispiele gibt es in der Amateurliteratur ausreichend, so z. B. der vom Verfasser in Heft 35 dieser Reihe, *Transistorschaltungen, Teil II,* beschriebene Verstärker mit eisenloser Endstufe, der mit 12-V-Batterien für maximal 5 W Endleistung ausgelegt werden kann. Für Heimzwecke reicht

bereits jedes Wechselstrom-Rundfunkgerät aus; das Kommando führt man dem Tonabnehmereingang zu.

2.2.1.1. Unterwasserschallsender für Schiffsmodelle

Ein Sonderfall der akustischen Übertragung ist die Unterwasserfernsteuerung von Schiffsmodellen. Strahler (Lautsprecher) und Empfänger (Mikrofon) befinden sich dabei unter Wasser. Im übrigen entspricht das Verfahren der akustischen Luftschallübertragung. Während einiger in anderem Zusammenhang vom Verfasser durchgeführter Versuchsserien erwies sich die Unterwasserfernsteuerung mit Hörschall als prinzipiell möglich und recht aussichtsreich. Mit einigen Watt Sendeleistung — etwa mit dem im vorigen Abschnitt erwähnten Transistorverstärker — dürften ohne weiteres Reichweiten um etwa 100 m realisierbar sein. Modellsteuertechnische Anwendungen sind nach Wissen des Verfassers bisher noch nicht bekannt geworden. Deshalb sei der experimentierfreudige Amateur auf dieses noch wenig untersuchte Modellsteuerverfahren hingewiesen und zu eigenen Versuchen angeregt. Allgemeingültige Lösungen können aus diesem Grund noch nicht angegeben werden. Bisherige Versuche zeigten jedoch, daß insbesondere für die Proportionalimpulssteuerung die Unterwasserübertragung durchaus gute Erfolgsaussichten verspricht. Allerdings ist bei größeren Reichweiten auf einen möglichst geräuscharm laufenden Schiffsantrieb zu achten. Es wird erforderlich sein, den Empfänger selektiv für eine Tonfrequenz auszulegen, damit Störungen durch Fremdgeräusche vermieden werden. Als Unterwasserlautsprecher und auch als Unterwassermikrofon bewährte sich nach den Untersuchungen des Verfassers ausgezeichnet der vom VEB Funkwerk Leipzig gefertigte „Kopfkissen-Lautsprecher" *Typ L 2256 PKk*. Es handelt sich um einen kleinen, flachen permanentdynamischen Lautsprecher (6 Ω), der eine wasserfeste Kunststoffmembran aufweist und vollständig wasserdicht ausgeführt ist. Er wurde zur Verwendung in Krankenhäu-



Ein Unterwasserschallsender mit wasserdichtem Lautsprecher L 2256 PKk des VEB FWL (links), einem einfachen Transistortongenerator als Geber (rechts) und der 4,5-V-Speisebatterie

sern entwickelt und zur Naß-Desinfektion zugelassen. Als Lautsprecher weist dieses Modell eine bei weitem für den vorgesehenen Zweck ausreichende Klangqualität auf und zeigte sich bis zu Tauchtiefen von etwa 1 m bis 1,5 m druckfest. Als Mikrofon hat er bei ebenfalls völlig ausreichendem Frequenzgang bis etwa 6 kHz eine verblüffend große Empfindlichkeit. In beiden Fällen kommt es für Unterwasserschallwandler ganz allgemein darauf an, daß die Membran unmittelbaren Kontakt mit dem Wasser hat – Einbau üblicher Lautsprecher oder Mikrofone in wasserdichte Gehäuse ist daher nutzlos! – und die Körperschallübertragung auf den Schallwandler vermieden wird. Letzteres erreicht man bei dem genannten Lautsprecher dadurch, daß man ihn senderseitig in Ufernähe an einem Schwimmer (Gummiball) etwa 0,5 m unter dem Wasserspiegel freischwimmend „aufhängt", empfängerseitig ist er federnd

(Schwammzwischenstück!) unter dem Schiffsboden befestigt. Auf Grund der niedrigen Impedanz (6 Ω) kann auf die Isolierung der als Steckstifte herangeführten Anschlüsse verzichtet werden — der Nebenschluß des Wassers bleibt auch beim Mikrofon ohne jede Wirkung —, womit alle Kabel- und sonstigen Dichtungsprobleme entfallen.
Senderseitig wird der Lautsprecher über ein nicht zu langes Kabel ausreichenden Querschnitts vom NF-Verstärker gespeist. Dabei muß man beachten, daß der Lautsprecher nominell nur für 0,05 W zugelassen ist. Der robusten Konstruktion können jedoch, wie Reihenversuche des Verfassers an mehreren Exemplaren ergaben, mit Sicherheit bis zu 3 W NF-Leistung, kurzzeitig sogar bis etwa 5 W Leistung, ohne Beschädigung zugemutet werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß der Lautsprecher durch das der Membran anliegende Wasser bedämpft wird. An der Luft kommt es bei derartig hoher Schalleistung unter Umständen bereits zu Membrandeformationen. Der Lautsprecher darf daher nur unter Wasser eingeschaltet und im Betrieb nicht herausgehoben werden. Für Heimversuchszwecke genügt als Bedämpfung bereits ein gefüllter Wassereimer. Unter Wasser zeigt dieser Lautsprecher eine schwach ausgeprägte Richtwirkung.
Insbesondere für eine Unterwasser-Proportionalimpulssteuerung kann der NF-Verstärker wesentlich vereinfacht werden.
Bild 23 gibt eine Schaltung an, die im Versuchsbetrieb ihre Eignung für diesen Zweck bewies. Verwendet wird der Proportionalgeber nach Bild 20a mit Trägertongenerator gemäß Bild 23. Für die Dimensionierung des Tongenerators gilt sinngemäß das bei Bild 21 Gesagte. Jedoch wird jetzt ein Ausgangsübertrager *K 21* (ggf. auch *K 31*) benutzt. C 3 bestimmt die Trägertonfrequenz. Wie Versuche erwiesen, können einzelne Exemplare des Unterwasserlautsprechers beim Einsatz als Mikrofon (empfängerseitig) merkliche Resonanz bei bestimmten Frequenzen (1 bis 3 kHz) zeigen. Man kann eine solche etwa vorhandene Resonanz zur Reichweitenvergrößerung und zur Störverringerung aus-

nutzen, wenn im Geber mit C 3 (Bild 23) die Tonträgerfrequenz nach Versuch auf diese Resonanzfrequenz abgeglichen wird. Entsprechende Versuche lohnen unbedingt. R 3 wird so abgeglichen, daß der Generator etwa 0,1 A Emitterstrom – bei Y gemessen – aufnimmt (nicht mehr, sonst T 4 gefährdet!). T 5, ein 1-W-Leistungstransistor, der hier keine Kühlschelle benötigt, arbeitet als Schaltertransistor. Die Trägertonschwingung, die nicht sinusförmig zu sein braucht, tritt dabei am Lautsprecher als Rechteckschwingung auf, was die Leistungsausbeute verbessert.
Der Tongenerator darf nicht ohne angeschlossenen Lautsprecher und dieser nur unter Wasser betrieben werden (während der Erprobungsarbeiten: Wassereimer für UWL!).
Die komplette Senderseite für das Verfahren besteht dann nur noch aus dem Geber (Bild 20a) mit Schaltung nach

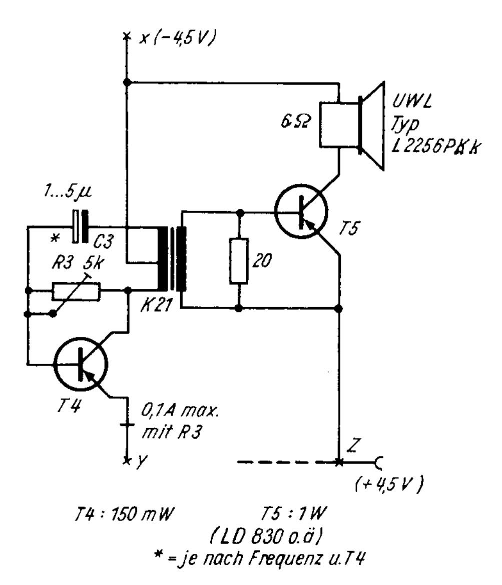


Bild 23 Einfache Schallsender-Endstufe für Unterwasserfernsteuerung nach dem Proportionalimpulsverfahren

Bild 23. Auf Grund der starken Stromaufnahme von T 5 empfehlen sich kräftige Batterien (Akkus oder Monozellen); günstiger ist der Anschluß der Endstufe (UWL und Punkt Z, vgl. auch Bild 20a) an eine eigene Batterie. Die Spannung darf maximal 4,5 V betragen.
Ein entsprechender Empfänger wird unter 2.3.1.1. behandelt.

2.2.2. Lichtstrahlsender für moduliertes Licht

Seit einiger Zeit ist auch in Amateurkreisen die sogenannte *Lichttelefonie* bekannt. Man kann relativ einfach die Lichthelligkeit einer normalen Kleinglühlampe im Takt einer NF-Schwingung modulieren. Daher läßt sich über einen Lichtstrahl ebenso eine Sprechverbindung betreiben wie beispielsweise über eine Richtfunkstrecke. Zwischen beiden besteht übrigens bis auf die sehr unterschiedliche Wellenlänge physikalisch kein grundsätzlicher Unterschied! Licht ist bekanntlich nichts anderes als eine elektromagnetische Schwingung extrem hoher Frequenz. Gesetzlich fällt die *Lichttelefonie* jedoch – nach Auskunft des Ministeriums für Post- und Fernmeldewesen – nicht unter den Begriff *Hochfrequenzübertragung*, sie ist daher nicht genehmigungspflichtig.
Da die *Lichttelefonie* NF-Schwingungen zu übertragen gestattet, eignet sie sich auch für die Übertragung von niederfrequenten Fernsteuerkommandos. Die erforderliche genaue Ausrichtung von Sendestrahler und Empfängeroptik aufeinander (vgl. Abschnitt 1.3.3.) schränkt natürlich die Beweglichkeit und damit die Anwendungsmöglichkeiten gerade für die Modellsteuerung ein.
Bild 24 zeigt einen modulierbaren Lichtstrahlsender für den NF-Übertragungsbereich von etwa 50 Hz bis 6 kHz. Er ist auch für Sprechverbindungen geeignet; diese Anwendungen sind im *Elektronikbastelbuch* beschrieben. T 1 arbeitet als Vorverstärker, sein Basiswiderstand wird je nach Transistordaten erprobt (Spannung zwischen Kollektor und Emitter T 1 beträgt 3,5 bis 6 V).

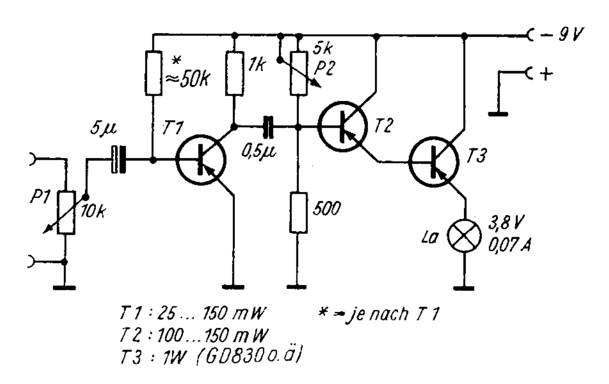
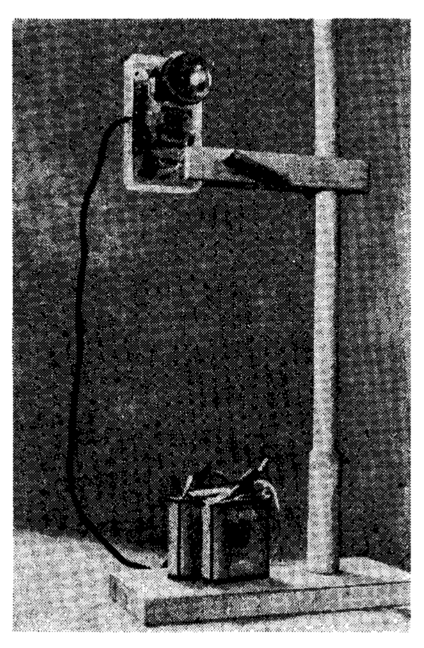


Bild 24 Lichtstrahlsender für tonmoduliertes Licht

Mit P 1 wird der Aussteuerungsgrad des Senders eingestellt. Falls die Senderlampe La sichtbar flackert, ist der Sender bereits übersteuert. Die erforderliche NF-Eingangsspannung liegt bei etwa 0,1 V. Gibt der Kommandogeber eine wesentlich größere Spannung ab, dann kann T 1 ohne weiteres entfallen, und es wird direkt am 0,5-μF-Kondensator eingekoppelt. Die Dimensionierung dieses Kondensators gleicht den durch die Lampenträgheit verursachten Frequenzgangabfall nach höheren Frequenzen aus. Man kann mit dem Lampentyp 3,8 V/0,07 A einen bis 6 kHz nahezu linearen Frequenzgang erreichen. P 2 regelt die Lampenhelligkeit und wird je nach Sendeentfernung eingestellt. Zu helle Einstellung kann den Empfänger bereits übersteuern. Volle Lampenhelligkeit benötigt man nur bei Entfernungen ab etwa 50 m. Die maximale Reichweite liegt bei 150 m, und zwar auch am Tage. Diese Zahlen gelten für bestmögliche Lichtbündelung am Sender (La sitzt exakt fokussiert im Hohlspiegel einer normal großen Taschenlampe) und am Empfänger (Sammellinse mit Fototransistor in ihrem Brennpunkt). Für Entfernungen unter 7 m bis 8 m genügt es, La mit P 2 auf schwaches, bei Tag kaum erkennbares Glimmen einzustellen.

T 3 sollte auf einem Kühlblech (100 cm^2 Alu) montiert werden, falls ein längeres Arbeiten mit voller Lampenleistung notwendig ist. Für La kommen eventuell noch die Lampentypen 6 V/0,05 A oder — bei etwas verringerter oberer Grenzfrequenz — 3,5 V/0,1 A in Frage. Die Verwendung von stärkeren Lampen erhöht die Reichweite relativ wenig, zwingt aber unter Umständen schon zum Einsatz eines 4-W-Transistors für T 3. In Betracht kommt dann bei einer maximalen Frequenz von etwa 2,5 kHz der Lampentyp 6 V/0,3 A, mit dem Reichweiten bis maximal 250 m möglich sind. Allerdings geht die maximale Reichweite bei unge-



Laboraufbau eines Lichtstrahlsenders (oben) mit Speisebatterie 9 V (unten). Als Hohlspiegel wird ein üblicher Taschenlampenspiegel mit Brennpunkteinstellung benutzt

nauer Justierung der Brennpunkte und des Lichtstrahls sehr zurück. Bis zu Entfernungen um 20 m bis 30 m ist dieses Problem jedoch noch relativ unkritisch.
Der Lichtsender eignet sich zur Übertragung aller Arten tonfrequenter Steuerkommandos. Sender und Strahler La werden zweckmäßig zusammengebaut, wobei als Gehäuse eventuell eine Taschenlampe mit justierbarem Hohlspiegel dienen kann, deren Batterieraum die Senderschaltung aufnimmt. Es empfiehlt sich, zur bequemeren Ausrichtung des Strahlers ein Stativgewinde für Fotostative vorzusehen. Das Foto zeigt ein Labormuster des Lichtstrahlsenders.

2.2.3. Induktionsschleifensender

Dieses Sendeverfahren wurde bereits unter 1.3.4. (Bild 12) erläutert. Die Induktionsschleife (Sendeschleife) L umfaßt den Fahrraum des Modells und hat je nach ihrer Fläche 4 bis 24 Windungen mit Mittelanzapfung (Bild 25b). Der Gleichstromwiderstand der Schleife soll bei etwa 10 Ω liegen, der Drahtdurchmesser ist entsprechend der Windungszahl und Drahtlänge zu wählen. Der Wert von 10 Ω darf nicht wesentlich unterschritten werden. Als Batterie verwendet man eine Ausführung mit größerer Kapazität (kleiner Akku oder 4 Monozellen). Der Sender (Bild 25a) ist nur mit seiner Endstufe dargestellt. T 1 und T 2 werden auf ein gemeinsames Kühlblech (150 cm^2 Alu-Blech) montiert. Da man beide Kollektoren verbindet, entfällt die Isolierung der Transistoren. Die in Bild 25a gezeigte Endstufe ist zur Übertragung aller Arten tonfrequenter Steuerkommandos geeignet. Dagegen kann sie für Sprech- oder Musikübertragung und für Verfahren, bei denen empfängerseitig eine saubere Sinusform des empfangenen Kommandos verlangt wird, nicht eingesetzt werden. Derartige Verfahren wendet man aber bei diesem auf relativ kleinen Raum begrenzten Übertragungsprinzip ohnehin nicht an.

Die Endstufe wird vom niederohmigen Ausgang eines *Sternchen*-Ausgangsübertragers *K 21* (o. ä. Ausgangsübertrager mit 6 bis 10 Ω Ausgangsimpedanz) angesteuert. Vor diesem Übertrager befindet sich eine normale Transistor-Gegentaktendstufe für etwa 100 mW, die in diesem Fall als Treiberstufe für den Schleifensender arbeitet. Es läßt sich jeder Transistorverstärker verwenden, wie er z. B. für Koffer- und Taschenradiogeräte üblich ist. An Stelle des Lautsprechers einer solchen Endstufe werden die Basisleitungen von T 1 und T 2 (Bild 25a) angeschlossen; der Übertrager ist mit dem im Verstärker vorhandenen Lautsprecherübertrager identisch. Entsprechende Schaltungen sind in der Radiobastlerliteratur ausreichend beschrieben,

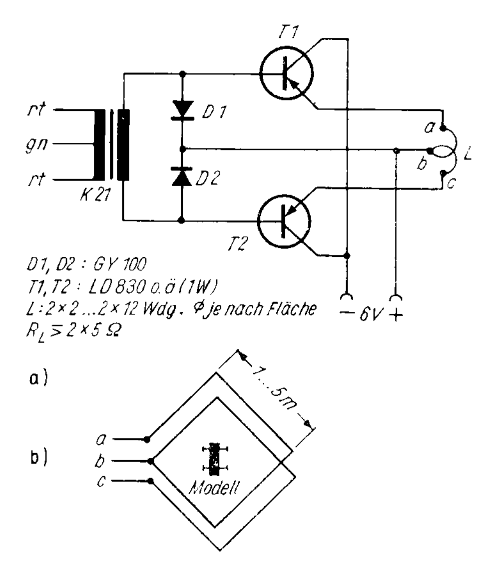


Bild 25 a – Sender-Endstufe für Induktionsschleifensender, L = Sendeschleife (vgl. Bild 12)
b – Räumliche Anordnung. Kantenlänge der Schleife, innerhalb derer sich das Modell bewegt, 1 m bis 5 m, bei stärkeren Sendern auch mehr

so daß sich jeder besondere Hinweis erübrigt. Beispielsweise kann die bekannte steckbare Endverstärker-Baugruppe *GES 4-1* der *Amateur-Elektronik*-Bausteinserie (beschrieben u. a. im Heft 41 dieser Reihe, *K. Schlenzig, Bausteintechnik für den Amateur*) sehr gut dafür benutzt werden; der Ausgangstrafo entspricht dem *K 21* (Bild 25a). Der komplette Schleifensender besteht also aus einer NF-Verstärkerschaltung mit Treibertrafo und Gegentakt-100-mW-Endstufe, der man an Stelle des Lautsprechers die Schaltung gemäß Bild 25a nachsetzt. Erwähnt sei noch, daß die Transistoren (Bild 25) zwecks besserer Leistungsausbeute und einfacherer Schaltung nicht in üblicher Gegentaktschaltung, sondern schalterähnlich in Kollektorschaltung betrieben werden. Die daraus resultierenden Übertragungsverzerrungen sind für Fernsteuerzwecke ohne Bedeutung.

2.2.4. Funkfernsteuersender (HF-Sender)

In Abschnitt 1.3.5. wurden die HF-Sender und die an sie zu stellenden Bedingungen teilweise erläutert. Schaltungen für herkömmliche röhrenbestückte sowie für Transistor-Funkfernsteuersender werden bewußt erst im Teil II (Band 73) gegeben. Sie sind in der einschlägigen Literatur verhältnismäßig zahlreich zu finden, besonders sei auf den Beitrag von *G. Miel* über einen Transistor-Fernsteuersender in der Zeitschrift *funkamateur*, Heft 6 und 7/1964, sowie auf die Jahrgänge der Zeitschriften *Modellbau und Basteln, radio und fernsehen* und *funkamateur* verwiesen. Die einzelnen Varianten unterscheiden sich weitgehend, zumal z. Z. noch Röhrenschaltungen zu finden sind und sowohl quarzgesteuerte als auch freischwingende Sender verwendet werden. Eine umfassende Behandlung dieser Thematik würde eine besondere Broschüre erfordern. Dagegen ist es hier sinnlos, 1 oder 2 Schaltbeispiele herauszustellen, weil es in diesem Fall die „ideale" Schaltung nicht geben kann und sich im Rahmen dieser Broschüre nicht alle Schaltungen beschreiben lassen. Der in der HF-Technik ungeübte

Amateur wird ohne die Hilfe erfahrener Amateure sowieso nicht auskommen. Dagegen sei die Entwicklungstendenz angedeutet, die auch für den Fernsteueramateur neue Möglichkeiten im Modellfunk erschließen kann. Die beschriebenen Schaltungen mit Tunneldioden sind als informierendes Beispiel zu verstehen.

Mit einigen Entwicklungsmustern wurden die gezeigten Schaltungen für quarzgesteuerte Tunneldiodensender vom Verfasser entwickelt und erprobt. Sie erwiesen sich als äußerst betriebssicher.

Tunneldioden sind relativ neuartige aktive Bauelemente, die unter bestimmten Betriebsbedingungen einen negativen Widerstand aufweisen. Einzelheiten über Tunneldioden, über ihre Funktion und Wirkungsweise sind u. a. in den Heften 81, 82 dieser Reihe (*Fischer, Einführung in die Dioden- und Transistortechnik)* beschrieben. Weitere Angaben und ausgeführte Schaltungen enthält das *Elektronikbastelbuch* (Tunneldiodensender für Sprachübertragung mit normalem Schwingkreis ohne Quarz).

Schaltet man eine Tunneldiode einem Schwingkreis HF-mäßig parallel, so kompensiert der negative Widerstand der Tunneldiode den (positiven) Verlustwiderstand des Schwingkreises; der somit entdämpfte Kreis beginnt auf seiner Resonanzfrequenz zu schwingen. Bekanntlich kann man einen Schwingquarz in Nähe seiner Resonanzfrequenzen elektrisch ebenfalls als Schwingkreis auffassen (Näheres zur Quarztechnik in Heft 24 dieser Reihe, *Schmidt, Schwingungserzeugung mit Elektronenröhren).* Zwischen der Serien- und der Parallelresonanz hat der Quarz eine induktive Komponente. Zusammen mit seinen Parallelkapazitäten und der Tunneldiodenkapazität ergibt sich elektrisch ein Schwingkreis, so daß man den Quarz bereits durch Parallelschaltung mit einer Tunneldiode — ohne sonstige frequenzabhängige Bauelemente — zum Schwingen bringen kann. Ein quarzgesteuerter Tunneldiodenoszillator wird daher im Aufbau sehr einfach.

Bild 26a zeigt eine erprobte Schwingschaltung dieser Art. Die Tunneldiode TD liegt über C 1 (HF-Kurzschluß) dem

Quarz Q parallel. Der Quarz entspricht der Fernsteuerfrequenz 27,12 MHz. Über den Spannungsteiler R 1/R 2 erhält die Tunneldiode ihre Vorspannung, so daß ihr Arbeitspunkt im fallenden Kennlinienteil liegt. R 1 wird dabei auf ma-

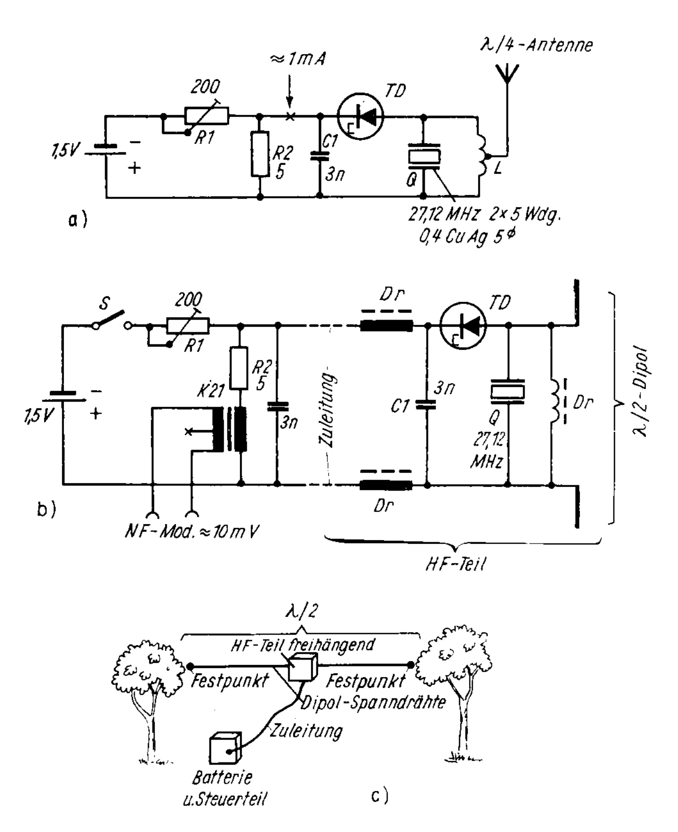


Bild 26 a – Einfachste Ausführung eines quarzgesteuerten Tunneldioden-Funkfernsteuersenders
b – Modulierbarer Tunneldioden-Funkfernsteuer-Kleinsender mit Quarzsteuerung für Montage unmittelbar am Dipol
c – Der Sender nach Bild 26b hängt frei im Dipol; die Zuleitung führt lediglich die modulierte Speisespannung

ximale HF-Ausbeute und geringste Oberwellenabstrahlung eingeregelt. Beim Versuchsmuster ergab sich diese Einstellung für einen Diodenstrom von etwa 1 mA und eine an R 2 gemessene Diodenspannung von etwa 0,2 V. Der Speiseleistungsbedarf des Oszillators ist also sehr gering. Da der Spannungsbedarf der Tunneldiode TD in jedem Fall nur wenige Zehntel Volt beträgt, genügt als Stromquelle eine 1,5-V-Gnomzelle oder ein pfenniggroßer 1,2-V-/50-mAh-Knopfzellenakku. An der Viertelwellenantenne wurde eine HF-Spannung von etwa 0,1 V gemessen, die erzeugte HF-Leistung lag bei 0,2 mW.

Diese gering erscheinende HF-Leistung reicht für die meisten Funkfernsteuerungen nach dem unter 1.3.5. Gesagten bereits aus. Mit einem empfindlichen Transistorpendelaudion (siehe Foto auf Seite 44) ergab sich für das dabei benutzte 400-Hz-Tonmodulationsverfahren eine sichere Reichweite von 120 m.

Spule L (Bild 26a) ist keine Schwingkreisspule, sondern dient lediglich zur Antennenanpassung; außerdem schließt sie den Gleichstromkreis für TD. Im allgemeinen wird man die Auskopplung nach Art eines *Collins*-Filters bevorzugen, da hiermit neben der Anpassung gleichzeitig die relativ kräftig auftretenden Oberwellen unterdrückt werden können.

Für Fernsteuerzwecke muß der Kleinstsender meist modulierbar sein. Die Modulation wurde beim Versuchsmuster durch Einkopplung der NF in den Spannungsteiler bei R 2 vorgenommen (Bild 26b). Der Modulationsspannungsbedarf am Fußpunkt von R 2 liegt noch beträchtlich unter 1 mV. Wegen der niederohmigen Einkopplung wurde als Anpaßübertrager der *Sternchen*-Ausgangstrafo *K 21* benutzt. Man kann den Speise- und Modulatorteil vom eigentlichen HF-Teil trennen. Verwendet man dann einen offenen $\lambda/2$-Dipol, dessen Fußpunktwiderstand höher ist als der Fußpunktwiderstand der $\lambda/4$-Antenne und gerade etwa den richtigen Wert hat, so kann eine Antennenanpassung entfallen. Die Schaltung wird dadurch symmetrisch und kommt ohne Erdung oder Gegengewicht aus. Der HF-Oszillator

besteht dann nur noch aus den Miniaturbauteilen TD, C 1 und Q sowie den zur Schließung des Gleichstromkreises erforderlichen HF-Drosseln Dr. Dafür kann man die bekannten kleinen Spielzeug-Entstördrosseln auf Ferritkern (10 μH) verwenden. Der komplette Oszillator nimmt etwa ein Viertel des Volumens einer Streichholzschachtel ein, wird dicht gekapselt und freitragend zwischen den Anschlußpunkten des Dipols aufgehängt. Eine beliebige Leitung führt dann zum Speise- und Modulatorteil (Bild 26b links), der HF-frei ist und zweckmäßig mit im Kommandogeber eingebaut wird. Wie Bild 26c andeutet, hängt der eigentliche Sender freitragend in der Antenne und bildet mit dieser eine Einheit, woraus sich sehr günstige Abstrahlungsbedingungen ergeben. Es lassen sich Reichweiten von weit mehr als 120 m erzielen. Tunneldioden haben ebenso wie andere Halbleiter eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer. Deshalb kann man den HF-Teil ohne weiteres mit Gießharz kompakt ausgießen (vgl. 1.4.3.), wodurch dieser Geräteteil vollständig bruchsicher und wetterfest wird. Die Zuleitung (Bild 26c) führt bereits keine HF mehr.
Das Beispiel zeigt, welche verblüffenden Möglichkeiten die moderne Halbleitertechnik schon in naher Zukunft auch dem Amateur eröffnet. Erwähnt sei, daß Tunneldioden grundsätzlich bis zu mehreren hundert Megahertz einsatzfähig sind.

2.3. Fernsteuerempfänger

2.3.1. Akustische Empfänger

Für den akustischen Empfänger wird als „Antenne“ ein Mikrofon benutzt; somit ist dieser Empfänger im wesentlichen ein einfacher Mikrofon-NF-Verstärker. Um große Reichweiten zu erreichen, soll das Mikrofon hohe Empfindlichkeit, der Verstärker große Verstärkung aufweisen. Normalerweise würde der Empfänger dann schon auf jedes beliebige leise Geräusch reagieren, d. h. auch auf Fremd-

geräusche und insbesondere auf die eigenen Antriebsgeräusche des Modells. Die erste Forderung ist daher ein möglichst geräuscharmer Lauf der Antriebsorgane. Trotzdem wird man den Empfänger fast immer selektiv auslegen müssen, d. h. so, daß er nur auf eine einzige Frequenz anspricht: auf die des Steuersenders. Aus verschiedenen Gründen kommen dafür vorwiegend höhere Frequenzen (Bereich 5 kHz bis 12 kHz) in Betracht. Bild 27 zeigt die Schaltung eines solchen selektiven NF-Empfängers.

Als Mikrofon wird eine — selbstverständlich gut federnd (z. B. auf Schwammgummi) montierte — Kristallmikrofon-Einbaukapsel benutzt. Diese Mikrofone sind einmal sehr preiswert, zum anderen haben sie einen für den vorgesehenen Zweck vorteilhaften kapazitiven Quellwiderstand.

Das Mikrofon legt man direkt an den Schwingkreis C 1/L 1, wodurch es bei allen Frequenzen außerhalb der Resonanzfrequenz kurzgeschlossen wird. Der Empfänger ist daher außerhalb der Resonanzfrequenz von vornherein nahezu „taub". Da die Mikrofonkapsel eine Kapazität darstellt (Wert je nach Mikrofontyp bei 1 nF bis 5 nF), bildet sie im Resonanzfall einen Teil der Schwingkreiskapazität. Die wirksame Kapazität des Schwingkreises ergibt sich aus der Kapselkapazität Ci und C 1. Das Mikrofon arbeitet dadurch auf der Resonanzfrequenz annähernd im Leerlauf, so daß an L 1 eine beträchtliche NF-Spannung (bis zu einigen Millivolt) entsteht. L 2 koppelt die Schwingkreisenergie aus, mit T 1 erfolgt die Verstärkung. Diese Stufe ist ebenfalls wieder selektiv abgestimmt (C 2, L 3). Man erreicht dadurch bereits mit einer Stufe auch bei geringen Schalldrücken eine zum Betrieb der gleichrichtenden Kollektorstufe T 2 völlig ausreichende Verstärkung. Beidseits der Resonanzfrequenz ist der Empfänger dann nahezu unempfindlich.

Transistor T 2 ist normalerweise gesperrt. Durch die von L 4 abgegebene NF-Spannung wird er geöffnet, wodurch sich C 3 auflädt. Die an C 3 auftretende Spannung steuert T 3 durch, wobei das Relais anzieht. C 3 muß einerseits so

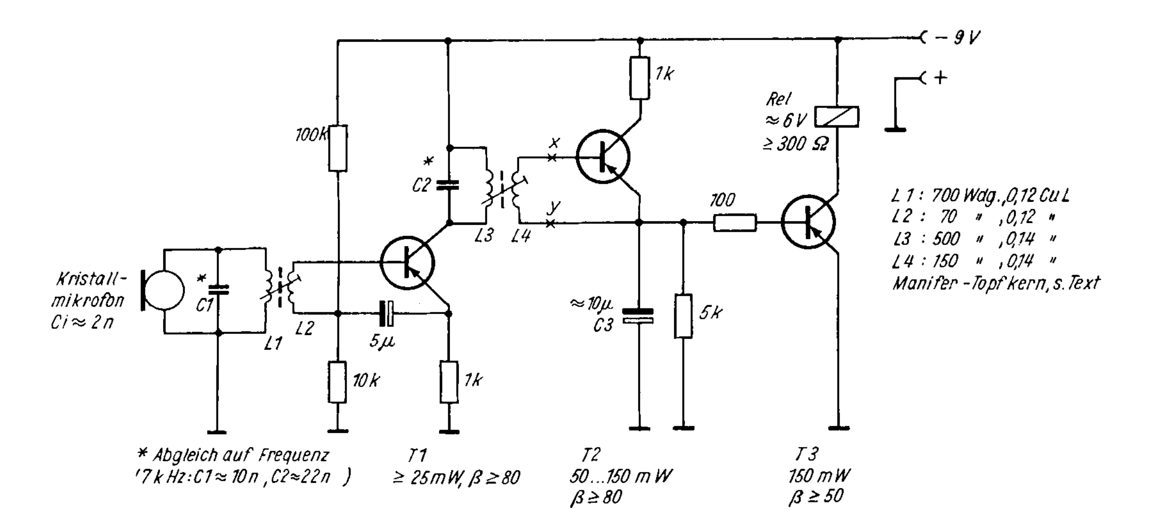


Bild 27 Selektiver Schallempfänger für Luftschallübertragung. Die Spulendaten gelten nur für den im Text angegebenen Spulenkern und etwa 7 kHz

groß sein, daß keine merkliche Welligkeit der Gleichspannung auftritt. Andererseits bewirkt C 3 eine leichte Verzögerung des Relaisabfalls. Außerdem ist für das Aufladen von C 3 eine gewisse Mindestzeit erforderlich, wodurch das Ansprechen des Relais bei kurzen, zufällig mit der Resonanzfrequenz zusammenfallenden Störschallspitzen verhindert wird. C 3 darf besonders bei Proportionalimpulssteuerung nicht zu groß werden ($\leq 1\,\mu$F!), und man muß diesen Kondensator gegebenenfalls nach Versuch bemessen. Die Ansprechempfindlichkeit läßt sich regeln, indem der 100-Ω-Widerstand vor der Basis von T 3 verändert wird (größerer Wert ergibt geringere Empfindlichkeit). Die Gleichrichterstufe sowie die Schaltstufe T 2/T 3 kann man nach der dargestellten Aufteilung bereits als Bestandteile der Kommando-Auswertung ansehen; sie lassen sich — ab Punkt X und Y — auch für andere Empfänger verwenden. Die Spulen werden je nach gewünschter Resonanzfrequenz (Feinabgleich mit C 1, C 2 bzw. mit den Spulenkernen) bemessen und auf Ferritschalenkerne gewickelt. Die Windungszahlen richten sich nach den Kerndaten. Das Versuchsmuster wurde mit Schalenkernen einer HF-Generatorspule (Bandgerät *Smaragd BG 20*) aufgebaut. Für diese Kerne (bei einer Frequenz von 7 kHz) sind in Bild 27 die Windungszahlen sowie die Werte für C 1 und C 2 angegeben.

Die Windungszahlen kann man für andere Kerntypen leicht umrechnen oder erproben, wobei die Verhältnisse L 1 : L 2 = 10 : 1 und L 3 : L 4 = 3 : 1 annähernd eingehalten werden müssen. Bei Neuberechnung der Spulen setze man C 1 mit 10 nF, C 2 mit 20 nF für Frequenzen um 6 kHz bis 10 kHz ein.

Falls der Empfänger nicht selektiv aufgebaut wird, sondern auf beliebige Geräusche reagieren soll, kann man als Mikrofon jeden geeigneten Typ benutzen, wobei für die Anpassung an niederohmige Transistoreingänge dynamische oder magnetische Mikrofone (günstig: Kleinstlautsprecher als Mikrofon mit zugehörigem Ausgangsübertrager als Anpaßübertrager) zweckmäßig sind. Danach folgt ein üblicher,

je nach Empfindlichkeit 2- bis 3stufiger NF-Verstärker, dessen Ausgang über einen Koppelkondensator (0,1 μF bis 1 μF) mit X (Bild 27) verbunden wird. Y bleibt dann frei, zwischen X und Masse und wird ein 10-kΩ-Widerstand eingefügt. L 1 · · · L 4 und dazu die Stufe mit T 1 (Bild 27) entfallen dann. Vergleiche dazu auch Bild 28.

2.3.1.1. Unterwasserschallempfänger

Zur Unterwasserschallsteuerung wurde das Grundlegende bereits bei 2.2.1.1. erklärt. Dort ist ebenfalls erwähnt, daß als Mikrofon der — auch als Strahler benutzte — Unterwasserlautsprecher vom *Typ L 2256 PKk* (Funkwerk Leipzig) verwendet wird. Er hängt federnd unter dem Schiffsmodellboden.

Der Schiffsantrieb darf vor allem keine starken Geräusche und keine Luftwirbel an der Wasseroberfläche erzeugen. Das Mikrofon soll dem Antrieb nicht zu dicht benachbart sein. Wasserwirbel oder Strömungsvorgänge am Mikrofon bleiben ohne Wirkung, wenn man darauf achtet, daß beim Eintauchen in das Wasser die Membran und der Schutzkorb von anhaftenden Luftblasen befreit werden. Interessant ist es, daß Luftgeräusche unterhalb des Wasserspiegels fast unhörbar bleiben; die Wasseroberfläche wirkt wie eine „akustische Trennwand". Auch etwaiger Wellenschlag an Uferböschungen wird unter Wasser nur in unmittelbarer Ufernähe (1 m bis 1,5 m) hörbar. Dagegen muß die Körperschallübertragung über die Mikrofonaufhängung sowie die Schallübertragerwirkung des Schiffsbodens durch schalldämpfenden Aufbau vermieden werden.

Falls es das Modell erlaubt, kann man diese Problematik gut lösen, indem das Mikrofon an einem Schwimmer frei aufgehängt wird (Schwimmer evtl. als Beiboot oder Schleppkahn ausbilden). Wenn der Empfänger nicht selektiv ausgelegt wird, sind in Ufernähe auch merkliche Trittschallübertragungen durch am Ufer laufende Personen möglich (Rumpelgeräusche tiefer Frequenz). Dies läßt sich leicht verhindern, indem im Verstärker (Bild 28) die Basiskoppel-

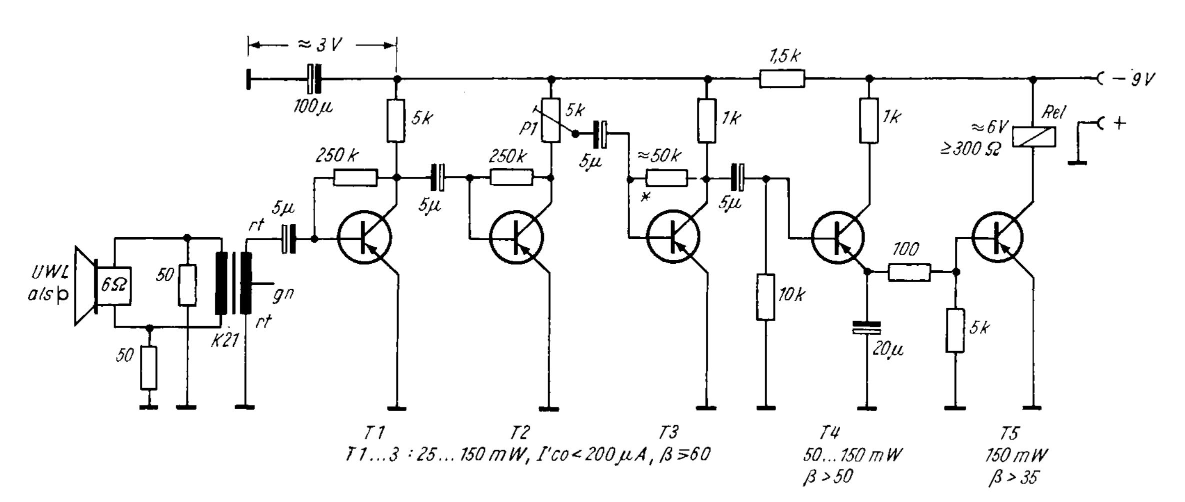


Bild 28 Nichtselektiver Schallempfänger für Unterwasserschallübertragung; auch für Luftschall geeignet

elkos vor T 1 ··· T 3 von 5 μF auf 0,1 μF verringert werden. Die untere Grenzfrequenz liegt dann bei 500 Hz bis 800 Hz und damit weit über dem Rumpelschallbereich.
Diese Hinweise sollen Experimentieranregungen sein und beruhen auf einschlägigen, jedoch nicht speziell für Modellsteuerungen gesammelten Erfahrungen des Verfassers bei Unterwasserschallversuchen für Sprechverbindungen.
Bild 28 gibt ein Beispiel für einen nicht selektiv arbeitenden Verstärker. Er kann in dieser Form ebenso für Luftschallübertragung benutzt werden wie der in Bild 27 gezeigte Verstärker für seine selektiv arbeitende Unterwasserübertragung. In letzterem Fall schaltet man L 1 (Bild 27) an Stelle des 5-kΩ-Kollektorwiderstands von T 1 (Bild 28) ein. Dadurch kann man auch bei dieser Variante, wenn die Parallelschaltung von C 1 und L 1 beibehalten wird, mit 2 Selektionskreisen arbeiten.
Bild 28 zeigt einen üblichen NF-Verstärker, bei dem die Stufen T 4 und T 5 wirkungsmäßig den Stufen T 2 und T 3 (Bild 27) entsprechen.
P 1 ist der Regler für die Schallempfindlichkeit (Verstärkungsgrad). Der als Mikrofon benutzte Unterwasserlautsprecher UWL wird mit einem Kleinübertrager Typ *K 21* o. ä. angepaßt. Starke magnetische Störfelder, die über diesen Übertrager Störfrequenzen einschleppen könnten, sind im Schiffsmodell und an dessen Einsatzort gewöhnlich nicht vorhanden, so daß eine magnetische Abschirmung des Übertragers nicht notwendig ist. Jedoch soll dieser Übertrager in einiger Entfernung von Relais und Antriebsmotoren montiert werden. In hartnäckigen Fällen ist der Übertrager durch Abhören mit Kopfhörern am Kollektor von T 3 auf Störminimum auszurichten (bei Montage Möglichkeit für nachträgliches Verdrehen lassen!). Die Eingangsleitung von UWL bis zum *K 21* wird symmetrisch geführt und durch 2 Widerstände (je 50 Ω) gegen Masse symmetriert. Wie sich zeigte, reicht diese Maßnahme vollständig gegen das Eindringen von Störspannungen aus, selbst dann, wenn die blanken Anschlußstifte von UWL im Wasser sind. Ein Abschirmen des Mikrofonkabels ist ebenfalls überflüssig.

Beim Fahren des Modells sollte man darauf achten, daß das Mikrofon nicht an Unterwasserhindernisse stößt. Die dadurch hervorgerufenen Störschallspitzen können sonst zu Fehlsteuerungen führen.
Die Schaltung nach Bild 28 kann man ohne Änderung auch als Luftschallempfänger verwenden. Für UWL benutzt man dann einen Kleinlautsprecher oder auch eine Telefonhörkapsel.

2.3.2. Lichtempfänger

Die „Antenne" eines Lichtempfängers besteht aus einem lichtempfindlichen Bauelement. Grundsätzlich sind dafür Fotodioden, Fototransistoren, Fotowiderstände und Selenfotoelemente geeignet. Diese Problemstellung hat weitgehend Ähnlichkeit mit den in Amateurkreisen heute bereits wohlbekannten Transistor-„Lichtschranken".
Für einfache Lichtstrahlfernsteuerungen, die für Ein/Aus-Kommandos benutzt werden und bei denen die Kommandoübertragung durch Ein- und Ausschalten des Lichtstrahls erfolgt, eignen sich alle genannten Lichtempfänger. Man wird dann möglichst dem Fotowiderstand oder auch dem Selenfotoelement den Vorzug geben, weil diese Bauelemente im Gegensatz zu Fotodioden und Fototransistoren keinen merklichen Temperaturgang aufweisen. Allerdings sind beide Bauelemente relativ großflächig (Selenelement: einige Quadratzentimeter, Fotowiderstand: $\approx 5 \cdots 10\ mm^2$); dadurch ist eine für große Reichweiten wünschenswerte exakte Lichtstrahlfokussierung mittels Sammellinse (vgl. Bild 11) nicht möglich. Diese gelingt lediglich bei Fotodioden und Fototransistoren, deren wirksame Fläche nur etwa $1\ mm^2$ beträgt. Mit diesen Bauelementen läßt sich daher eine höhere Empfindlichkeit erreichen – insbesondere mit Fototransistoren, die allerdings z. Z. in der DDR noch nicht gefertigt werden –, jedoch wirkt sich ihre Temperaturabhängigkeit manchmal ungünstig aus. Darum muß man je nach beabsichtigter Steuerungsaufgabe den

geeignetsten Lichtempfänger auswählen. Fotowiderstände und Selenfotoelemente werden vom VEB Carl Zeiss Jena gefertigt, Fotodioden vom VEB Werk für Fernsehelektronik Berlin. Fototransistoren und auch Selenfotoelemente kann man behelfsmäßig selbst herstellen (Hinweise siehe *Elektronikbastelbuch*).

Eine Empfängerschaltung, die lediglich in Ein/Aus-Form auf die Zustände *Licht* oder *kein Licht* reagiert, entspricht praktisch den als Lichtschranke oder Dämmerungsschalter bekannten Anordnungen. Vollständigkeitshalber zeigt Bild 29 eine solche Schaltung. Angenommen ist ein Fotowiderstand FW, jedoch kann ohne Änderung eine Fotodiode oder ein Fototransistor in gleicher Weise angeschlossen werden. Ein Selenfotoelement dagegen wird so angeschlossen, wie in Bild 29 punktiert gezeichnet. Um die Empfindlichkeit zu steigern, kann man zusätzlich den ebenfalls punktiert gezeichneten 1-MΩ-Widerstand einfügen. P 1 gestattet die Einstellung der Empfindlichkeit bzw. der Ansprechschwelle je nach vorhandenem Nebenlicht. Sobald auf

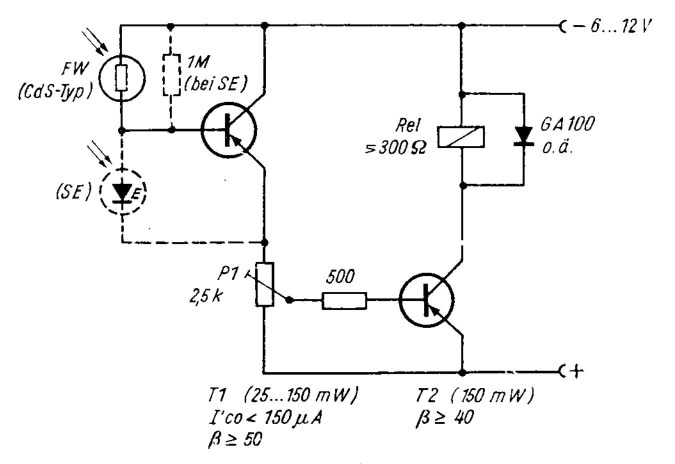


Bild 29 Einfacher Lichtempfänger für Ein/Aus-Kommando mit unmoduliertem Licht. Lichtquelle beliebig, Kommandogabe durch Ein- und Ausschalten des Lichtes

FW bzw. SE Licht einfällt, dessen Stärke die Ansprechgrenze überschreitet, zieht Relais Rel an. Rechnet man mit plötzlichem Lichtwechsel, dann sollte Rel mit der angegebenen Diode überbrückt werden (Polung beachten!), damit eine Beschädigung von T 2 durch die Abschaltspannungen der Relaiswicklung vermieden wird.

2.3.2.1. Empfänger für tonmoduliertes Licht

Im allgemeinen wird man tonfrequente Kommandos verwenden, zumal die Empfängerseite dann völlig unabhän-

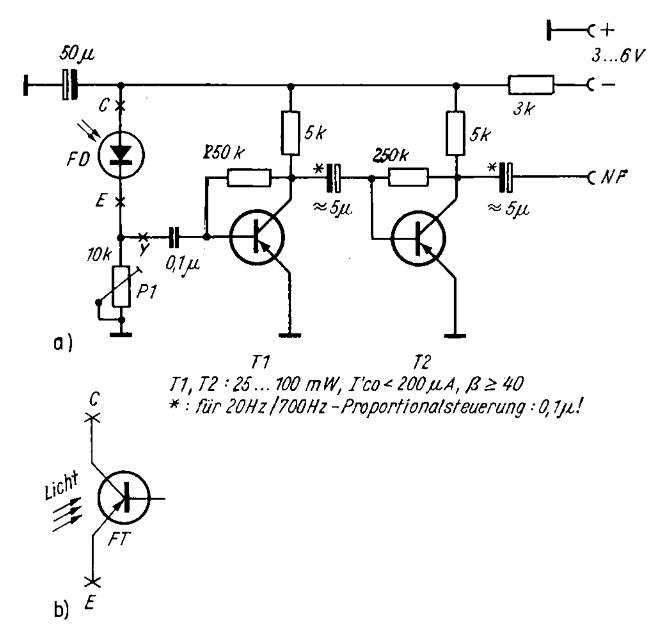


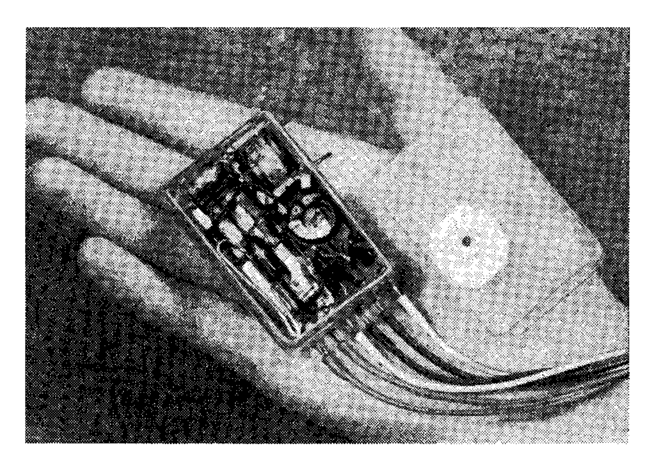
Bild 30 a – Empfänger für tonmoduliertes Licht
b – Anschalten eines Fototransistors an Stelle der Fotodiode FD; Basis bleibt frei

gig von Fremdlicht ist. Ein entsprechender Sender wurde unter 2.2.2. beschrieben. Bild 30 zeigt die Schaltung eines geeigneten Empfängers. Da das lichtempfindliche Organ schnellen Lichtschwankungen folgen muß, scheiden von den genannten Lichtempfängern Fotowiderstand und Selenfotoelement aus.

Für diese Schaltung kommen nur noch Fotodiode und Fototransistor in Betracht. In der Schaltung nach Bild 30a wurde eine Fotodiode FD verwendet (z. B. Typen *FD 20, FD 50, GF*-Serie — Werk für Fernsehelektronik, Berlin); aber man kann auch einen selbstgefertigten Fototransistor benutzen. Er wird so angeschlossen, wie Bild 30b andeutet. Das Licht soll auf der Emitterseite einfallen, weil sich damit eine etwas größere Empfindlichkeit ergibt als bei Beleuchtung der Kollektorseite.

Voraussetzungen für das Selbstanfertigen von Fototransistoren bieten die gelegentlich im Handel greifbaren älteren Importtransistoren mit Glasgehäuse (*OC 70, OC 71, OC 44, OC 45, OC 604* u. ä.). Bei diesen Typen läßt sich der Lack abschaben bzw. mit Aceton abwaschen. Neuere Transistoren sowie sämtliche DDR-Typen werden mit (technologisch vorteilhafterem) Metallgehäuse gefertigt. Deshalb muß man bei diesen Transistoren das Gehäuse vorsichtig auffeilen und es danach mit einem Zellophandeckblatt schnellstens verschließen (staubfrei und trocken arbeiten, Vorsicht vor Atemfeuchtigkeit! Nur wasserfreie Klebstoffe wie Duosan u. ä. benutzen!). Dieses Verfahren kann (oft noch nach Wochen) zur Schädigung des Transistorkristalls führen; man sollte daher nur billige, auf geringsten Kollektorreststrom ausgesuchte Bastlertransistoren benutzen.

Der 3-kΩ-Vorwiderstand in der Minusleitung (Bild 30a) ist nur Richtwert und soll je nach Transistordaten so bemessen werden, daß am 50-μF-Elko etwa 1,2 V bis 1,5 V stehen. Mit P 1 wird der Verstärkungsgrad eingestellt, jedoch dient dieser Regler in erster Linie zum Abgleich auf Lichthelligkeit. Ein hoher Wert für P 1 ergibt die meist erwünschte hohe Verstärkung; allerdings kann bei sehr starkem Lichteinfall FD bereits übersteuert werden. P 1 ist dann etwas zu



Versuchsmuster eines Lichtstrahlempfängers mit Fototransistor. Als Gehäuse dient eine Polystyrol-Tablettenschachtel (Abmessungen 55 mm × 35 mm × 15 mm). Das mit einer zusätzlichen Sammellinse gebündelte Licht fällt durch eine Öffnung im Deckel ein, hinter der sich der Fototransistor befindet. Zwecks bequemerer Brennpunkteinstellung der Sammellinse ist die Lichteintrittsöffnung weiß hinterlegt

verringern. Auf Grund des Senderlichts, das empfängerseitig mit Sammellinse gebündelt wird (Bild 11), fließt durch FD ständig ein mittlerer Gleichstrom, den P 1 ableitet und der damit wirkungslos bleibt. Dem Gleichstrom ist die Modulation des Lichtstrahls als Stromschwankung überlagert. Sie wird an P 1 über 0,1 μF abgegriffen und 2stufig nachverstärkt. Dieser Kondensator darf nicht größer sein, weil sonst bei plötzlicher Schwankung der Lichthelligkeit T 1 und T 2 „zugestopft" werden. Für Proportionalimpulssteuerungen mit Tonträgern oder wenn nur mit hohen Tonfrequenzen gearbeitet wird, sind auch die beiden 5-μ-Elektrolytkondensatoren auf je 0,1 μF zu verringern. Dadurch ist der Lichtempfänger gleichzeitig gegen Netzbrumm (durch Einstrahlen starker Netzbeleuchtung auf FD in Wohnräumen) ausreichend gesichert. Am Ausgang kann die NF abgenommen und — nötigenfalls

weiter verstärkt — dem jeweiligen Kommando-Auswerter zugeführt werden.

2.3.2.2. Lichtträgerkontrolle (Bereitschaftsschaltung) für Tonfrequenz-Lichtempfänger

Die Schaltung nach Bild 30 ermöglicht eine sehr nützliche Ergänzung. Am durch P 1 fließenden Gleichstrom erkennt man, ob das als Übertragungslinie dienende Licht überhaupt vorhanden ist, d. h., ob der Sender arbeitet. Man kann empfängerseitig sämtliche Bordeinrichtungen mit Ausnahme des Empfängers über ein Relais stillsetzen und dadurch beträchtlich an Batteriestrom sparen, da der Verbrauch des Empfängers nach Bild 30 noch unter 1 mA liegt. Erst wenn der Sender eingeschaltet wird und auf FD Licht einfällt, sorgt die Bereitschaftsschaltung dafür, daß nunmehr auch alle anderen Bordeinrichtungen eingeschaltet werden. Deshalb kann man mit Hilfe des Senders das Modell — bis auf den verschwindend geringen Stromverbrauch — vollständig stillsetzen. Das gleiche geschieht selbsttätig, wenn die Übertragung unterbrochen wird oder das Modell aus dem Bereich des Senderlichts kommt. Bild 31 zeigt die zusätzliche Bereitschaftsschaltung zu Bild 30. P 1 liegt jetzt nicht an Masse (Bild 30), sondern wird gemäß Bild 31 in Serie mit P 2 geschaltet. So lange Senderlicht vorhanden ist, fließt über P 1 Gleichstrom, wodurch an P 2 ein Spannungsabfall auftritt (der parallel zu P 2 liegende Elko beseitigt die NF-Modulation und verhindert Relaisflattern). Damit sind T 3 und T 4 durchgesteuert, und Bereitschaftsrelais Rel hat gezogen. Sein Kontakt rel schaltet die gesamte Bordstromversorgung mit Ausnahme der Speisung für Empfänger (Bild 30) und Bereitschaftsschaltung (Bild 31); die entsprechende Batterieleitung wird über A 1 — A 2 geführt. Der Stromverbrauch der Bereitschaftsschaltung (auch Trägerkontrolle genannt) ist bei fehlendem Lichteinfall ebenfalls verschwindend gering (unter 1 mA). Man stellt zunächst mit P 1 auf die erforderliche Verstärkung (NF-Empfindlichkeit) ein, danach wird P 2 so eingeregelt, daß Rel bei vor-

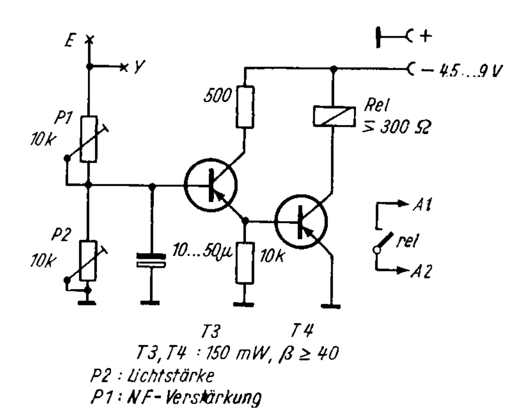


Bild 31 Zusatzschaltung für Lichtträger-Ausfallkontrolle

handenem Licht sicher zieht und bei fehlendem Licht abfällt. Auf die NF-Verstärkung hat P 2, da er durch den Elko kurzgeschlossen ist, keinen Einfluß.

Beim optischen Einrichten der Übertragungsstrecke leistet ein Voltmeter parallel zu Rel gute Dienste (wenn P 1 und P 2 entsprechend eingestellt werden). Man kann dann den Empfänger auf Maximumanzeige einschwenken. Dieser Kniff ist für die Brennpunkteinstellung der Sammellinse auf FD vorteilhaft, da sich die Brennpunktlage meist nur schwer erkennen läßt. Sorgt man dafür, daß FD nur Licht von der Sammellinse erhält (kleiner Papptubus o. ä.), so wird auch die Trägerkontrolle gegen Fremdlicht weitgehend „immun", da sich jede etwas seitlich von der Übertragungsrichtung befindliche Lichtquelle mit ihrem Brennpunkt nicht mehr auf FD abbilden kann.

2.3.3. Induktionsschleifenempfänger

Wie zu Bild 12 erläutert, enthält das Modell als „Antenne" eine kleine Induktionsspule, im folgenden *Fangspule* genannt. Sie gibt die übertragene NF genauso wie ein Mikro-

fon ab. Der Induktionsspule folgt daher wie beim akustischen Empfänger (Schallempfänger) ein NF-Verstärker, der gegebenenfalls selektiv arbeitet. Bild 32 verdeutlicht den Anschluß der Fangspule an die bereits bekannten Schaltungen. Für nichtselektive Steuerungsverfahren, etwa für Proportional- oder Simultanverfahren, ist zunächst eine Nachverstärkung erforderlich, wofür sich z. B. die Schaltung nach Bild 30 eignet. P 1 und FD entfallen, bei Y wird die Fangspule nach Bild 32a angeschlossen. Dem Verstärker nach Bild 30 kann dann der jeweils erforderliche Kommandoauswerter (für Mehrkanal-Simultansteuerungen z. B. Tonkreisschaltstufen, für Proportionalsteuerung ein geeigneter Kommandoauswerter bzw. siehe nächsten Abschnitt) nachgesetzt werden.

Für Einkanal-Ein/Aus-Steuerungen mit nur einer NF kann der Empfänger, falls erforderlich, selektiv ausgelegt werden. Er wird dadurch sehr störfest gegen magnetische Fremdfelder (Störmagnetfelder der Antriebsmotore!). In diesem Fall kann man eine Schaltung entsprechend Bild 27 benutzen. Die Fangspule tritt dabei an die Stelle des Mikrofons und des ersten Schwingkreises; sie wird selbst als Schwingkreis ausgebildet und statt der Spule L 2 (Bild 27) angeschlossen, wie es Bild 32b andeutet. Die Anzapfung der Fangspule soll $^1/_3$ bis $^1/_5$ der Gesamtwindungszahl haben. Windungszahl und Kondensator richten sich weitgehend nach Kern und Frequenz, so daß keine Anhaltswerte gegeben werden können. Durch einige Versuche lassen sich diese Werte aber relativ schnell ermitteln. Der Kondensator (Bild 32b) wird – eventuell durch Kombination mehrerer Einzelwerte – zuletzt genau auf die Sollfrequenz abgeglichen. Die Spule sollte man so wickeln,

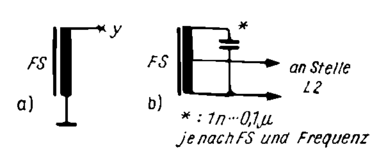


Bild 32
Fangspule für Induktionsschleifenempfänger;
a – FS wird an Empfänger nach Bild 30a angeschlossen
b – Anschluß an Empfänger nach Bild 27

daß sich für den Kondensator ein Wert zwischen 1 nF und höchstens 0,1 μF ergibt.
Die Fangspule soll einen offenen Eisenkern haben. Geeignet sind kleine Telefonübertragerspulen, deren äußerer Kernsteg entfernt wird, Spulen von alten Kopfhörern u. ä. Man kann auch einen kleinen Trafokern verwenden (z. B. M-Schnitt mit abgesägten äußeren Blechteilen, EI-Kern, wobei der Spulenkörper lediglich mit den I-Blechen gefüllt wird, Stabkern u. ä.). Für einen auf diese Weise präparierten M-20-Kern (o. ä. Größen) kann man entsprechend der Schaltung (Bild 32a) als Richtwert etwa 1000 Wdg., 0,1-mm-CuL annehmen; die Windungszahl ist nicht sehr kritisch. Für den Resonanzkreis nach Bild 32b sollte die Windungszahl bei 300 bis 3000 Wdg. liegen.

2.3.4. Funkfernsteuerempfänger (HF-Empfänger)

In mehreren Kapiteln wurde bereits erläutert, daß es für HF-Empfänger verhältnismäßig viele Varianten gibt. Daher ist es auch nicht möglich, einen annähernd vollständigen Überblick über HF-Empfängerschaltungen zu geben. Wer sich über die vorhandenen Möglichkeiten und Varianten unterrichten will, sei insbesondere auf die Zeitschriften *Modellbau und Basteln* und *Funkamateur* verwiesen, wo zahlreiche Bauanleitungen für Funkfernsteuerempfänger erschienen sind. Hier soll nur ein Beispiel geboten werden; weitere Beispiele sind in Teil II (Band 93 der Reihe) zu finden.
Trotz der Nachteile gegenüber Superhetempfängern dominiert z. Z. im Modellfunk das ausschließlich mit Transistoren aufgebaute Pendelaudion. Bild 33 zeigt eine Schaltung für ein Transistor-Pendelaudion. Die Schaltung ist für das 27,12-MHz-Band ausgelegt, als HF-Transistor wird der *OC 883* benutzt. Auch der *OC 882* reicht je nach Exemplareigenschaften bereits aus — hier kann nur der Versuch entscheiden. Gut eignen sich ebenfalls der in Amateurkreisen häufig vorhandene sowjetische Typ *P 403 A* sowie *GF 122, GF 130 · · · GF 132.*
Nähere Einzelheiten über Funktion und Prinzip des Pendel-

audions findet man in der allgemeinen Amateurfunkliteratur (z. B. im Handbuch *Amateurfunk*, Deutscher Militärverlag). Mit P 1 wird der Arbeitspunkt des Audiontransistors eingestellt, mit P 2 die Pendelfrequenz, die etwa 30 kHz bis 50 kHz betragen soll. Sie kann mit C 2 grob festgelegt werden. Die Werte sind etwas abhängig vom Transistorexemplar. Die Einstellung von P 1 und P 2 ist wechselseitig auf höchste Empfindlichkeit vorzunehmen und mit P 1 zu beenden. Zu diesem Zweck hört man am NF-Ausgang die Modulation mit dem Kopfhörer in einiger Entfernung vom Sender ab. Durch C 3 läßt sich der Rückkopplungsgrad einstellen. Da er ebenfalls Einfluß auf die Empfindlichkeit hat, ist ein Trimmer günstiger als ein Festkondensator. L 1 und C 1 bestimmen die Frequenz; mit C 1 wird bei schwachem Empfang (Reichweitengrenze oder verringerte Senderleistung, jedoch nicht verkürzte Empfangsantenne!) auf die Senderfrequenz abgeglichen. Die für L 1 und Dr angegebene Dimensionierng gilt für das 27,12-MHz-Band. Die Drossel Dr ist dabei verhältnismäßig kritisch. Sie muß bei der Montage senkrecht zu L 1 angeordnet werden, so daß sie nicht auf L 1 koppelt. Die Empfangsenergie wird dem Emitter des Transistors eingekoppelt. Dies bewirkt gegenüber die Einkopplung am Kollektor eine etwas höhere Empfindlichkeit sowie geringere Verstimmung bei Lageänderungen der Antenne. Als Antenne kann je nach Modell ein Stab oder eine im Modell ausgespannte Litze von etwa 80 cm Länge dienen (geringere Längen verringern merklich die Empfindlichkeit), wobei die Antenne möglichst großen Abstand zu anderen metallischen Bauten haben sollte. Des weiteren darf die Antenne nicht über größere Strecken mit anderen Leitungen im Modell parallellaufen.

Die Pendelfrequenz wird vor der Basis des ersten NF-Transistors (T 2) durch das Tiefpaßglied 5 kΩ/25 nF ausgesiebt. P 3 regelt die NF-Ausgangsspannung je nach Bedarf des folgenden Kommandoauswerters. Eventuell kann man schon mit einer NF-Stufe auskommen, so daß T 3 entfällt. Für T 2 und T 3 eignet sich jeder NF-Typ.

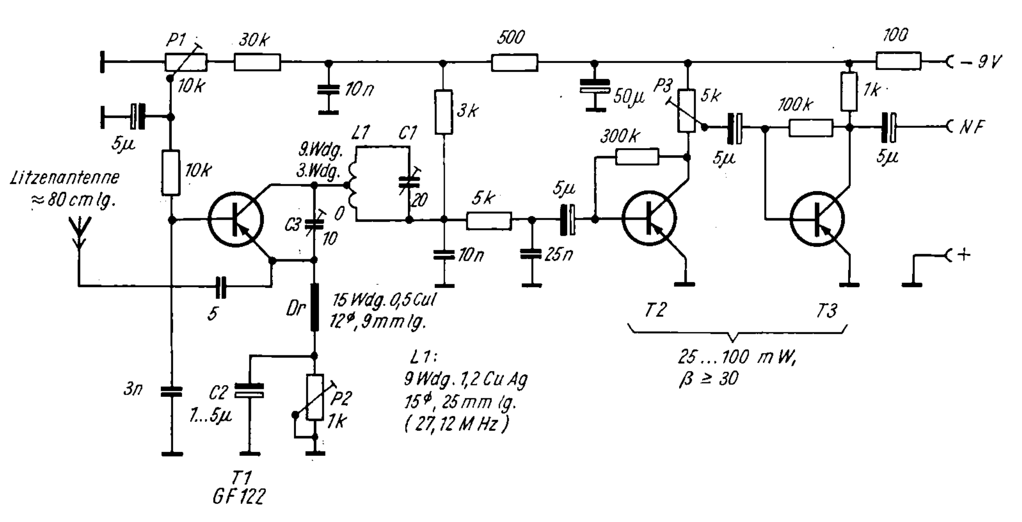


Bild 33 Schaltung für ein Transistor-Pendelaudion für 27,12 MHz

Bekanntlich ist für den Pendelempfänger bei fehlendem Empfang ein starkes Rauschen typisch, das unmittelbar zur Funktionskontrolle dient. Einfache Ein/Aus-Steuerungen mit unmoduliertem Sender zeigen darum bei fehlender Senderenergie am Ausgang stets ein Rauschen, während bei arbeitendem Sender keine NF-Spannung auftritt (der Sender ist nicht moduliert!). Man kann daher die Rauschspannung als „Kommandosignal" ansehen und sie — nach Verstärkung und Gleichrichtung — zur Relaisbetätigung benutzen. Einfachste Fernsteuerungen arbeiten nach diesem Prinzip.
Die Rauschspannung des Pendelaudions ist in diesem Falle von Vorteil, da sie eine besondere Sendermodulation erspart. Bei der Übertragung von NF-Kommandos kann sie sich aber nachteilig auswirken. Deshalb müssen im Kommandoauswerter häufig selektive Verfahren angewendet werden, da jetzt am Pendler-NF-Ausgang immer eine NF-Spannung — entweder die Sender-NF-Modulation oder bei ausfallendem Sender die Rauschspannung — vorhanden ist. Eine nicht selektiv, d. h. auf jede beliebige NF reagierende Kommandoauswertung könnte durch das Pendlerrauschen sonst auch bei Abreißen der Funkverbindung (z. B. durch Überschreiten der Reichweite) ansprechen. In jedem Fall ist beim Nachschalten einer Kommandoauswerteschaltung hinter einen Pendler darauf zu achten, wieweit sich das NF-Rauschen des Pendlers möglicherweise auf die Funktion der Kommandoauswertung auswirkt. Diese Überlegung spricht ebenfalls für die Anwendung selektiver NF-Verfahren (Tonkreisschaltstufen) bzw. spezieller Verfahren, wie der Proportionalsteuerung auch bei Funkfernsteuerungen mit nur einem Kommandoweg. Deshalb sind auch Einkanal-Funkfernsteuerungen meist für Tonmodulation (gewöhnlich dann um 400 Hz) ausgelegt (siehe Foto Seite 44) und bestehen dann aus den Baugruppen Pendelaudion, 400-Hz-Filter (Tonschaltstufe) und gegebenenfalls einer NF- oder Gleichstromverstärkerstufe.

2.4. Kommandoauswerter

Der Kommandoauswerter hat die Aufgabe, das vom Empfänger gelieferte Kommandosignal in eine zur Betätigung der Rudermaschinen geignete Form (Einschalten von Stromkreisen, Regelungen usw.) umzusetzen – was meist mit Hilfe von Relais geschieht – und bei mehreren gleichzeitig vorhandenen Signalen (Simultanbetrieb) diese sinnrichtig auf die einzelnen Rudermaschinen aufzuteilen. Er kann außerdem die Aufgabe haben, das Steuersignal von Störsignalen zu befreien. Im einfachsten Fall besteht der Auswerter nur aus einem Relais und ist dann oft organisch mit dem Empfänger vereinigt (Beipiel Bild 29: T 1, T 2 = Empfänger, Rel = Kommandoauswerter). Im Sinne der Unterteilung beginnt bei größeren Schaltungen mit mehreren Relais der Kommandoauswerter an deren Wicklungsanschlüssen (bzw. bei vorhandenen Tonkreisstufen am gemeinsamen NF-Eingang) und endet an den Anschlüssen der Rudermaschinen. Der Kommandoauswerter muß also keineswegs immer ein einheitlicher Baublock sein.
Die Schaltung des Auswerters ist daher – ebenso wie senderseitig die des Gebers – typisch für das jeweils benutzte Steuerungsverfahren (Kommandoverfahren) und hat mit dem Übertragungsverfahren nur insoweit zu tun, als dieses das benutzte Steuerungsverfahren mitbestimmt. Das Grundprinzip der Auswerteschaltung umfaßt jedoch nur relativ wenige Varianten.

2.4.1. Der selektive Tonkreis (Tonkreisschaltstufe)

Die Aufgabe des selektiven Tonkreises besteht darin, bei Vorhandensein einer bestimmten Frequenz, auf die er abgestimmt ist, ein Relais zum Anziehen zu bringen. Das trifft bereits auf die Schaltung Bild 27 zu – ein Beispiel dafür, daß sich die Begriffe *Empfänger* und *Auswerter* schaltungstechnisch nicht immer exakt trennen lassen. Für Modellfernsteuerungen haben sich jedoch Filterschaltungen ein-

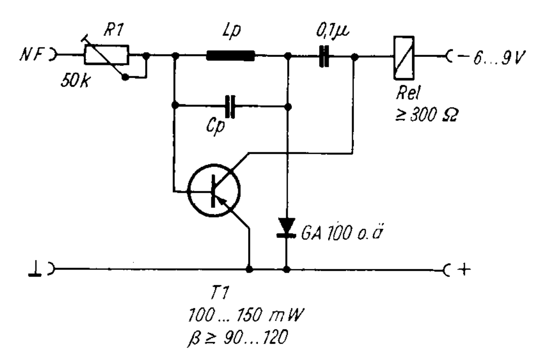


Bild 34 Tonkreisschaltstufe nach Schumacher (Parallelkreis)

gebürgert, die bei ausreichenden Eigenschaften nicht allzu materialaufwendig sind und die es gestatten, mehrere Tonkreise für verschiedene Frequenzen vorzusehen. Bild 34 und Bild 35 zeigen 2 typische Beispiele für derartige Tonkreisschaltstufen. In beiden Fällen ist dem Transistor neben der Aufgabe der NF-Verstärkung noch die Aufgabe der Gleichstromverstärkung übertragen, er wird also doppelt ausgenutzt. Bild 34 zeigt die unter dem Namen *Schumacher-*

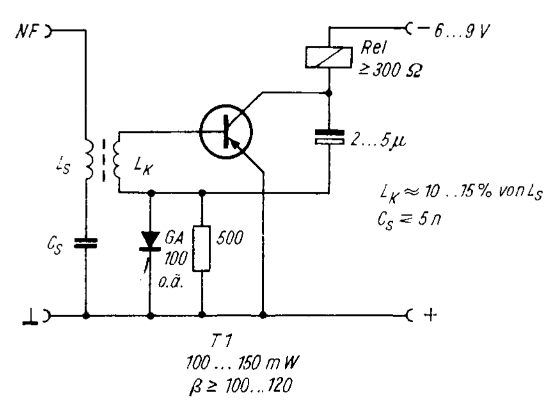


Bild 35 Tonkreisschaltstufe mit Serienresonanzkreis

Stufe bekannt gewordene Schaltung mit Parallelresonanzkreis, Bild 35 eine ähnlich arbeitende Stufe mit Serienresonanzkreis.

Diese beiden Stufen — besonders die Schumacher-Stufe (Bild 34) — sind als Standardschaltungen im Modellfunk anzusehen und in der Zeitschrift *funkamateur*, Heft 1/1964, von *Lindemann* ausführlich beschrieben. Bezüglich der Eigenschaften, Unterschiede und Dimensionierungseinheiten sei auf diesen Beitrag verwiesen, da eine ausführliche Behandlung aus Platzgründen fortfallen muß. Lp und Cp (Bild 34) bzw. Ls und Cs (Bild 35) werden je nach gewünschter Resonanzfrequenz bemessen, wozu der genannte Beitrag alle erforderlichen Hinweise gibt. Die Windungszahl von Lk (Bild 35) soll etwa 10 bis 15 % von Ls betragen. Cs soll einen Wert von höchstens 5 nF haben, was bei der Dimensionierung von Ls zu beachten ist. Die Schaltung nach Bild 35 eignet sich daher vorwiegend für Frequenzen oberhalb etwa 2 kHz bis 3 kHz.

Entsprechend Bild 34 wird am Eingang NF die vom Empfänger (z. B. Schaltung Bild 33 bzw. Bild 30a) abgegebene NF-Spannung zugeführt. Man kann an diesem Punkt mehrere auf verschiedene Frequenzen abgestimmte Tonkreise parallelschalten (Simultanverfahren, vgl. Bild 4). R 1 sorgt dann für die Entkopplung der einzelnen Tonkreise voneinander und vom Ausgang des NF-Verstärkers. Eine NF-Spannung, für die Lp/Cp in Resonanz sind, kommt an der Basis von T 1 zur Wirkung. Die verstärkte NF-Spannung wird über den 0,1-μF-Kondensator auf den Schwingkreis rückgekoppelt (Rel wirkt dabei für die NF mit seinem induktiven Widerstand als Kollektorwiderstand), wodurch sich die NF-Spannung in der Stufe beträchtlich erhöht. Gleichzeitig erfolgt die Gleichrichtung der auf diese Weise verstärkten NF an der Diode. Die entstandene Gleichspannung steuert über Lp die Basis von T 1 an, womit der Kollektorstrom — der bei fehlender NF wegen der nichtvorhandenen Basisvorspannung für T 1 sehr gering ist — stark ansteigt, so daß Rel anzieht. Mit R 1 kann die Empfindlichkeit der Stufe eingestellt werden.

Die Schaltung nach Bild 35 arbeitet ähnlich, jedoch erfolgt keine Rückkopplung. Bei Resonanzfrequenz fließt im Serienresonanzkreis Ls/Cs ein beträchtlicher NF-Strom, der über Lk den Transistor ansteuert. Die Diode sorgt für Gleichrichtung der NF-Spannung, während der Elektrolytkondensator keine Rückkopplung bewirkt, sondern ein Flattern des Relais verhindern soll. Die Richtspannung der Diode steuert den Transistor durch, wobei Rel anzieht. Diese Schaltung ist bei großen NF-Eingangsspannungen übersteuerungsfester als die — bei Übersteuerung zu Relaisflattern auch außerhalb der Resonanzfrequenz neigende — Parallelkreisschaltung nach Bild 34. Die Parallelkreisschaltung hat jedoch eine wesentlich bessere Selektivität und Empfindlichkeit, so daß man ihr im allgemeinen den Vorzug geben wird. Weitere ausführliche Hinweise sind in dem bereits erwähnten Beitrag zu finden.
Eine andere Schaltung für Tonkreisstufen ist in Heft 48 dieser Reihe (*Franz, Relaisschaltungen*) beschrieben. Ferner sind dort Hinweise für Zungenfrequenzrelais gegeben. Diese Art der selektiven Schaltstufen wird hier nicht behandelt, da sie für den Amateur meist beträchtliche materialmäßige und mechanische Schwierigkeiten mit sich bringt. Beim jetzigen Stand der Elektronik hat das Zungenfrequenzrelais auch technisch gesehen seine Bedeutung für den Modellbauer verloren. Im Prinzip besteht es aus einer Elektromagnetwicklung, vor deren Kern mehrere Stahlfederzungen angeordnet sind, die in ihrer Länge mechanisch auf verschiedene Frequenzen abgestimmt wurden. Wird der Erregerspule eine NF-Spannung zugeführt, so werden alle Zungen erregt, wobei sich die Stahlzunge, deren mechanische Resonanzfrequenz mit der Erregerfrequenz übereinstimmt, zu Schwingungsweiten von einigen Millimetern aufschaukeln kann. Sie berührt dabei einen Gegenkontakt, der — meist über ein nachfolgendes Relais — die Rudermaschine einschaltet. Je nach Erregerfrequenz gibt also die zugehörige Zunge Kontakt. Mechanisch ähnelt der Aufbau eines Zungenfrequenzrelais dem der bekannten Starkstrom-Netzfrequenzmesser. Seit Einführung der Tran-

sistortechnik ist diese Lösung in jeder Beziehung als überholt anzusehen.

2.4.2. Kommandoauswerter für 20-Hz-Proportionalimpulssteuerung mit 700-Hz-Tonträger

Prinzip und Geberseite dieses Verfahrens wurden bereits unter 1.2.3. und 2.1.3.2. beschrieben. Aufgabe des Kommandoauswerters ist es, die im 20-Hz-Rhythmus getastete Tonfolge von etwa 700 Hz so umzuwandeln, daß der ursprüngliche 20-Hz-Rechteckimpuls zurückgewonnen wird und mit ihm das empfängerseitige Flatterrelais betrieben werden kann. Nach der aus den Fotos auf Seite 61/62 erkennbaren Impulsfolge erscheint das zunächst nicht schwierig. Man könnte an eine einfache Gleichrichtung der 700-Hz-Schwingung denken, wobei die daraus erhaltene Gleichspannung dem 20-Hz-Rechteck entsprechen müßte. Praktisch läßt sich das jedoch nicht in dieser Form erreichen. Dem Gleichrichter müßte man in üblicher Weise einen Ladekondensator zur Glättung der 700-Hz-Halbwellen nachschalten, die ja am Flatterrelais nicht wirksam werden dürfen. Ähnlich würde ein Beruhigungskondensator parallel zum Flatterrelais wirken. In beiden Fällen ist aber eine brauchbare Dimensionierung dieses Kondensators nicht möglich. Hat der Kondensator einen so großen Wert, daß er die 700-Hz-Impulse ausreichend abfängt, dann wird durch die lange Zeitdauer der Entladung die 20-Hz-Impulsflanke abgeschrägt. Das Relais hat infolgedessen keine genau definierte Anzugs- und Abfallzeit mehr, und das Tastverhältnis kann nicht exakt eingehalten werden; die Steuerungsgenauigkeit geht verloren. Außerdem würde sich bei von 1 : 1 abweichenden Tastverhältnissen eine unterschiedliche 20-Hz-Amplitude am Relais ergeben, was die Arbeitsverhältnisse des Flatterrelais weiter verschlechtert. Eine einfache Gleichrichtung ist also nicht möglich. Es muß vielmehr eine Schaltung benutzt werden, die ein flankensteiles, von 700-Hz-Resten befreites 20-Hz-Rechteck mit

einer vom Tastverhältnis unabhängigen Amplitude abgibt. Eine solche Schaltung zeigt Bild 36.
T 1 wirkt als Treiberstufe für den eigentlichen Impulsformer T 2, T 3. Die Vorstufe T 1 wird bei ausreichender NF-Spannung bereits übersteuert, was in diesem Fall vorteilhaft ist. T 2 und T 3 sind normalerweise gesperrt, am 10-nF-Kondensator steht daher keine Gleichspannung. Sobald die Impulsfolge am Eingang anliegt, erfolgt über die als „gesteuerte Gleichrichter" arbeitenden T 2, T 3 eine Doppelweggleichrichtung der 700-Hz-Schwingung. Dabei wird diese durch die Eigenschaften der Schaltung bereits auf annähernde Rechteckform begrenzt. Am 10-nF-Kondensator tritt daher eine nahezu konstante Gleichspannung auf, der lediglich noch bei den Nulldurchgängen der 700-Hz-Schwingungskurve kurze, steile Spannungsspitzen überlagert sind. Diese werden durch den 10-nF-Kondensator vollständig unterdrückt. Seine Kapazität ist aber noch so gering, daß sie keine merkliche Verformung der 20-Hz-Impulsflanken bewirkt, da sich die kleine Kapazität von

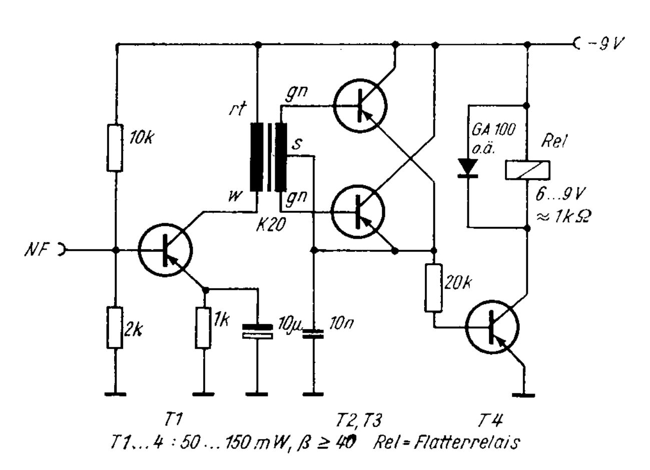


Bild 36 Kommandoauswerteschaltung für Proportionalimpulsverfahren mit Tonträger (20 Hz/700 Hz o. ä. Frequenzen)

10 nF bei Einsetzen der 700-Hz-Schwingung sofort auflädt bzw. bei Ausbleiben dieser Schwingung über T 4 sofort wieder entladen wird. T 4 erhält dadurch ein sauber begrenztes 20-Hz-Rechteck zur Ansteuerung, das der Impulsform des Gebers genau entspricht, und schaltet demzufolge exakt das Flatterrelais Rel. Dieses ist zum Schutz des Transistors T 4 gegen Schaltspannungsspitzen mit einer Diode überbrückt (Polung beachten!) und mit dem Flatterrelais P (Bild 9 und Bild 15) identisch.

Der Auswerter arbeitet weitgehend frequenzunabhängig und ist für Flatterfrequenzen von unter 1 Hz bis etwa 35 Hz (bei Tonträgerfrequenzen über 3 kHz bis 4 kHz und Verkleinerung des 10-nF-Kondensators bis über 100 Hz) verwendbar.

Die Tonträgerfrequenz kann zwischen 500 Hz und etwa 10 kHz liegen. Für Kombinationsverfahren (vgl. 1.2.4., 2.1.3.3. und Bild 8) kann der Auswerter nach Bild 36 eingangsseitig mit Tonkreisstufen (Bild 34 o. ä.) parallelgeschaltet werden.

2.4.3. Signalausfallkontrolle und Rudermaschinenanschaltung beim Proportionalimpulsverfahren

Die Rudermaschine muß nicht immer ein Motor sein. Bei Konstruktionen, die ähnlich Bild 15 geschaltet werden — das trifft auch auf die wenig verbreiteten Motore mit Mittelanzapfung der Feldwicklung zu —, kann man auf das einzige kritische Glied der Proportionalsteuerung, das Flatterrelais, verzichten und eine kontaktlose, vollelektronisch arbeitende Steuerung benutzen. Die vollelektronische Steuerung erfordert in der gesamten Steuerungsanlage keinerlei Relais. Am Beispiel der Rudermaschine nach Bild 15 sei das gezeigt. Die Antriebsspulen Sp 1 und Sp 2 dieser Maschine sind auch in Bild 37 eingezeichnet. Der Kommandoauswerter nach Bild 36 wird jetzt entsprechend Bild 37 abgeändert, T 4 und Rel (Bild 36) entfallen. Von den Transistoren T 2 und T 3 — als Schaltertransistoren anzusehen — wer-

den jetzt die ebenfalls im Schalterbetrieb arbeitenden Leistungstransistoren T 4 und T 5 angesteuert.
In diesem Fall findet kein Trägerton-Proportionalverfahren Verwendung, sondern die Flatterfrequenz selbst wird auf etwa 300 Hz erhöht. Dieser Wert ist einerseits bereits hoch genug, um mit üblichen Übertragungsverfahren arbeiten zu können, andererseits noch so niedrig, daß es nicht zu störenden Impulsverschleifungen der Rechteckschwingung durch die obere Frequenzgrenze der Übertragungsstrecke kommt. Der Proportionalgeber nach Bild 20 wird für diese Frequenz dimensioniert; die bei A abnehmbare 300-Hz-Flatterfrequenz führt man dem Sender direkt zu. Ein Trägertongenerator entfällt also. Im Auswerter (Bild 37) öffnen sich nun T 2, T 3 – und mit ihnen T 4, T 5 – wechselseitig für die Dauer der betreffenden Impulshalbwelle t 1 oder t 2 (vgl. Bild 6). Dementsprechend werden Sp 1 und Sp 2 abwechselnd an die Ruderbatterie RB geschaltet. Wegen der meist starken Stromaufnahme der Spulen ist RB von der Empfängerbatterie (EB) völlig getrennt, damit Rückwirkungen auf den Empfänger vermieden werden. Sp 1 und Sp 2 dürfen entsprechend den Transistor-Grenzdaten höchstens 1 A Strom aufnehmen. D 1 und D 2 schützen – wie vom Flatterrelais bekannt – T 4 und T 5 gegen Abschaltspannungsspitzen der Spulen. Die Steuerung (mechanisch nach Bild 15, elektrisch nach Bild 37 aufgebaut) arbeitet vollständig geräusch- und funkstörfrei.
Signalausfallkontrolle (Bild 9) sowie Kontakt a (Bild 15) können bei der Schaltung nach Bild 37 entfallen, da bei Signalausfall beide Transistoren T 2/T 3 gesperrt und demzufolge auch Sp 1/Sp 2 abgeschaltet sind. Wenn ein Flatterrelais verwendet wird, dann ist diese Vorkehrung jedoch notwendig. Bild 38 zeigt die Schaltung als Ergänzung zu Bild 36. rel p 1 und rel p 2 sind die Kontakte des Flatterrelais Rel (Bild 36), RB ist die Ruderbatterie (getrennt von der Empfängerbatterie), bei U_m wird der gegebenenfalls funkentstörte und mit Funkenlöschung versehene Rudermotor entsprechend Bild 14a bis c angeschlossen. rel p 1 und rel p 2 polen den Motor ständig um. Jeweils bei

angezogenem Flatterrelais wird dabei über rel p 2 und die Diode der Verzögerungskondensator C_V aufgeladen; Relais A, das Ausfallrelais, zieht an. Während der Abfallzeit des Flatterrelais bleibt A gezogen, weil sich in dieser Periode C_V über A entlädt. Steht rel p 2 länger als normal in Ruhe, fällt A ab und trennt mit rel a 1 den Motor ab.

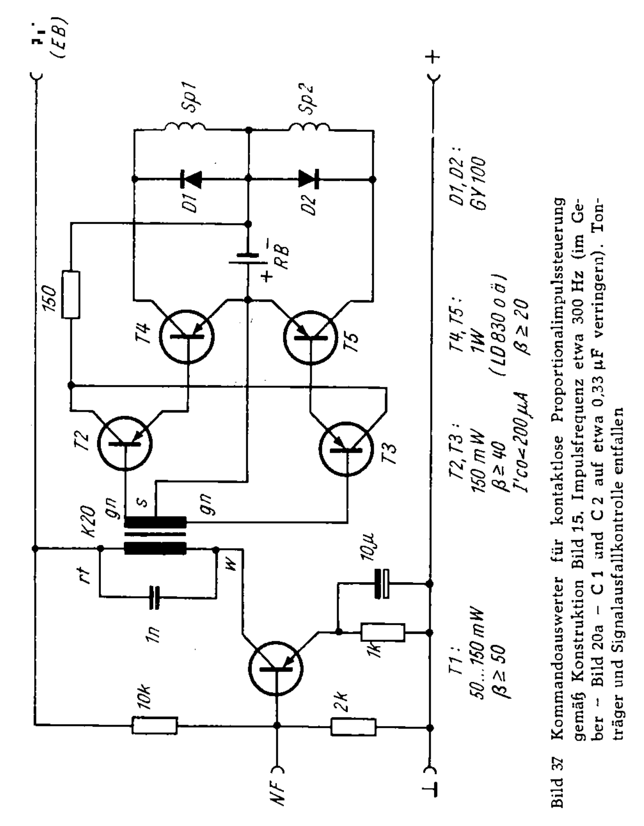


Bild 37 Kommandoauswerter für kontaktlose Proportionalimpulssteuerung gemäß Konstruktion Bild 15. Impulsfrequenz etwa 300 Hz (im Geber – Bild 20a – C 1 und C 2 auf etwa 0,33 µF verringern). Tonträger und Signalausfallkontrolle entfallen

Wie schon erläutert, kann rel a 2 weitere beliebige Schaltvorgänge im Modell auslösen. Die Dimensionierung von C_V richtet sich nach dem Widerstand von A und der Flatterfrequenz. C_V ist möglichst klein zu wählen, so daß A beim kürzesten mit dem Geber einstellbaren Impuls gerade noch nicht abfällt.

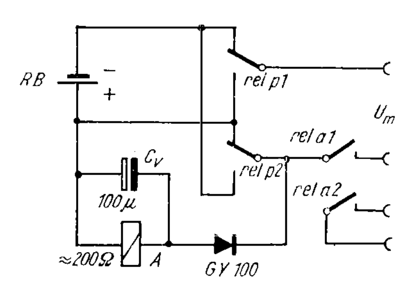


Bild 38
Schaltung des Rudermotors beim Proportionalimpulsverfahren. rel p 1, rel p 2 sind Relaiskontakte des Relais Rel (Bild 36), U_m = zum Rudermotor (Bild 14), A = Ausfallrelais

2.5. Programmfernsteuerung mit Hilfe eines Magnetbandgeräts

Abschließend soll noch kurz auf eine Möglichkeit verwiesen werden, die alle tonfrequenten Steuerungsverfahren nebenbei bieten. Das 20-Hz-Proportionalimpulsverfahren mit 700-Hz-Tonträger eignet sich sehr gut dafür.
Das Steuerkommando wird vom Geber als NF-Schwingung an den Sender abgegeben. Man kann es daher parallel zum Sendereingang abgreifen und dem Eingang eines üblichen Heim-Magnetbandgeräts zuführen (es eignet sich jedes beliebige Magnetbandgerät). Während das Modell ferngesteuert wird, läuft gleichzeitig das Magnetbandgerät in Betriebsart *Aufnahme*. Auf dem Band werden daher sämtliche Steuerkommandos in zeitlich richtigem Ablauf aufgezeichnet. Man fährt mit dem Modell einen bestimmten Kurs, bei dem Ausgangspunkt und Ausgangsstellung des Modells genau gekennzeichnet werden. Nach Beendigung des Kurses wird das Modell auf den markierten Anfangs-

punkt zurückgebracht. Statt des Gebers schließt man nun den Wiedergabeausgang des Magnetbandgeräts an den Sender an und läßt die Bandaufzeichnung ablaufen. Der Sender erhält jetzt vom Band genau die gleichen Steuersignale wie zuvor; das Modell wiederholt magnetbandgesteuert den zuvor gefahrenen Kurs. Diesen Versuch kann man mit dem auf Band gespeicherten Fahrprogramm beliebig oft wiederholen.

Voraussetzung für das Gelingen einer solchen Vorführung ist allerdings eine sehr präzis arbeitende Steuerung sowie ein mechanisch erstklassig durchkonstruiertes Modell. Ausreichende Genauigkeit dürfte sich wohl nur mit Bodenfahrmodellen erreichen lassen, wobei 2motorige Raupenfahrwerke sich am besten eignen. Zu beachten ist, daß jede Ungenauigkeit in der Kommandoübermittlung, jede Übertragungsstörung, jede mechanische Toleranz in den Antriebs- und Lenkungsorganen sowie jeder Umwelteinfluß (mangelnde Bodenhaftung beim Fahrmodell, Strömungseinfluß beim Schiffsmodell u. ä.) eine Abweichung vom Kurs ergibt, die von der Programmsteuerung nicht korrigiert wird. Bei längeren oder komplizierteren Fahrwegen kann das Modell deshalb wesentlich vom Kurs abweichen.

Für die Übertragung eignen sich vorwiegend Funkfernsteuerung und Induktionsverfahren, im Freien auch akustische Übertragung (in geschlossenen Räumen kann es durch Echobildung zu unliebsamen Störungen kommen).

Der Anschluß des Kommandogebers (bei Programmaufnahme) und des Sendereingangs (bei Programmwiedergabe) an das Bandgerät ist im allgemeinen ohne weiteres möglich. Wenn die vom Geber oder — bei Wiedergabe — vom Bandgerät abgegebenen NF-Spannungen zu unterschiedlich gegenüber dem Spannungsbedarf des Sendereingangs bzw. Bandgeräteingangs sind, können kleine Widerstände oder Trimmpotentiometer zwischengeschaltet werden. Die für Diodenein- und -ausgang moderner Bandgeräte gültigen Anschlußwerte liegen in der Größenordnung aller üblichen Transistorschaltungen, so daß keine wesentlichen Schwierigkeiten auftreten.

3. Literaturhinweise

Weitere Anregungen, Hinweise und Abhandlungen zu Einzelfragen der Modellsteuerung, die bei dem knappen Umfang dieses Heftes nicht berücksichtigt werden konnten, findet der interessierte Amateur u. a. in nachstehenden Veröffentlichungen.

Broschürenreihe *Der praktische Funkamateur* bzw. *electronica,* Deutscher Militärverlag:

Jakubaschk, Fernsteuerexperimente Teil II (Band 73) als Ergänzung des vorliegenden Titels (u. a. Funk- und Modellbahn-Thematik, jetzt Band 93)

Jakubaschk, Transistorschaltungen, Teil I und II (Band 20 und 35, Hinweise zu NF-Verstärkerschaltungen und Tongeneratoren)

Jakubaschk, Elektronikschaltungen für Amateure (Band 28, Lichtempfänger, Multivibratoren mit Transistoren)

Kronjäger, Formelsammlung für den Funkamateur (Band 21, Berechnungen aller Art)

Morgenroth, Funktechnische Bauelemente, Teil I und II (Band 23 und 37, u. a. Spulenkern-Angaben)

Schlenzig, Die Technik der gedruckten Schaltung, Teil I und II (Band 26 und 31)

Schlenzig, Bausteintechnik für den Amateur (Band 41, Baugruppenbeschreibungen u. a. für NF-Verstärker)

Fischer, Einführung in die Dioden- und Transistortechnik (Band 81 und 82)

Franz, Relaisschaltungen (Band 48, Relais-Kombinationen für Fernsteuerzwecke)

Jakubaschk, Gießharztechnik für den Amateur (Band 59)

Jakubaschk, Angewandte Elektronik (Band 88, u. a. optische Probleme)

Bücher:

Handbuch „Amateurfunk", Deutscher Militärverlag

Jakubaschk, „Das große Elektronikbastelbuch", Deutscher Militärverlag (3. Auflage 1968)

Elektronisches Jahrbuch 1965 bis 1970, Deutscher Militärverlag

Zeitschriften:

Jahrgänge

Modellbau und Basteln, Verlag Junge Welt
funkamateur, Deutscher Militärverlag
Funktechnik, Verlag für Radio/Foto/Kinotechnik

insbesondere folgende Veröffentlichungen:

Dietze, Zweikanal-Funkfernsteueranlage für Schiffsmodelle. In: *funkamateur,* Heft 5/1964, S. 161–162

Lindemann, Ein volltransistorisierter Fernsteuerempfänger. In: *funkamateur,* Heft 9/1963, S. 298–300

Lindemann, Hinweise für den Fernsteuer-Mehrkanalbetrieb. In: *funkamateur,* Heft 1/1964, S. 11–12 (Tonkreisschaltstufen-Dimensionierung, NF-Kanalaufteilung usw.)

Miel, Transistor-Fernsteuersender für 27,12 MHz. In: *funkamateur,* Heft 6/1964, S. 197–198, Heft 7/1964, S. 236–238
und spätere Jahrgänge (1967, 1968)

Hertwig, Elektronische Steuer- und Schaltmittel für Modell-Eisenbahnanlagen.
In: *Funktechnik,* Heft 21/1963, S. 801—802 (Anwendung von Transistor-Schaltstufen für automatische Modellbahn-Blocksysteme)

Eschke, Rudermaschinen für Fernsteuermodelle.
In: *funkamateur,* Heft 8/1964, S. 271—273 und zugehörige Berichtigung Heft 10/1964, S. 346

Hielscher, Ein Transistor-Fernsteuergerät für 27,12 MHz.
In: *radio und fernsehen,* Heft 22/1964, S. 684 ff.

Friebe, Leitfaden für Fernlenkempfänger, Beitragsfolge.
In: *funkamateur,* Heft 2—7/1964, 9—11/1964 und weitere Jahrgänge

92

